

40
A. hydr.

45

2

A. hyd.

Fort Smith

45^x 4°

(II-5)

<36602700360013

S

^

<36602700360013

Bayer. Staatsbibliothek

A. hydr. 45^r 4^s

Fortschritte der Ingenieurwissenschaften.

Zweite Gruppe. 3. Heft.

II 15

Bewegliche Brücken.

Von

Wilhelm Dietz,

Professor an der Technischen Hochschule in München.

Mit 106 Textfiguren.

Leipzig.

Verlag von Wilhelm Engelmann.

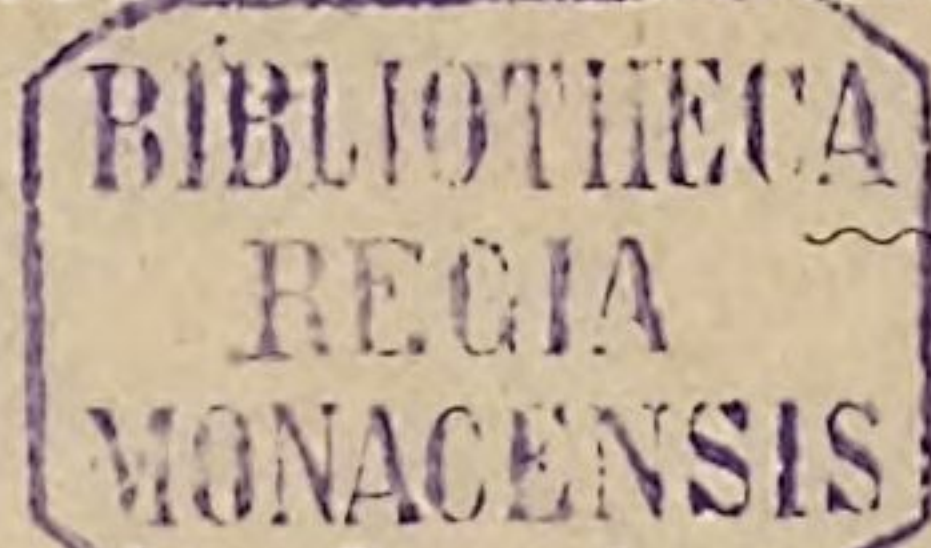
1897.

1216

Plan

für die

Fortschritte der Ingenieurwissenschaften.



Die Fortschritte der Ingenieurwissenschaften waren ursprünglich lediglich als Ergänzungen des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften geplant; verschiedene Zweige des Ingenieurwesens haben sich in neuerer Zeit rascher als die anderen und so kräftig entwickelt, daß jenes Handbuch dieser Entwicklung mit neuen Auflagen nicht genügend zu folgen vermag. Bald stellte sich indessen heraus, daß in den Fortschritten nicht allein auf Ergänzungen, sondern auch auf Erweiterungen des Rahmens des Handbuchs Rücksicht zu nehmen sei, weil einige Zweige des Ingenieurwesens bislang in demselben zu kurz gekommen sind. Hierbei handelt es sich namentlich um diejenigen Gegenstände, welche sowohl den speziellen Wissenschaften des Ingenieurs, wie verwandten Wissenschaften angehören. Der Rahmen für die „Fortschritte“ wird somit ein weiterer sein, als derjenige des Handbuchs. — Es kommt noch hinzu, daß es schwer, wenn nicht unmöglich ist, mittels des Handbuchs dem zweifachen Ziele vollständig gerecht zu werden, welches in demselben bislang erstrebt wurde, indem das Handbuch sowohl „dem angehenden Techniker zum Studium dienen, als auch dem ausführenden Ingenieur ein Ratgeber sein soll.“ Der ausführende Ingenieur braucht, wenn nicht ausschließlich, so doch vorzugsweise, Nachrichten über die neueren Ausführungen und Forschungen. Diesem Bedürfnisse sollen die „Fortschritte“ Rechnung tragen, während das Handbuch in Zukunft vorzugsweise auf die Bedürfnisse der Lernenden Rücksicht nehmen wird. — Dem Vorstehenden entsprechend eignen sich die „Fortschritte“ auch zur Aufnahme wissenschaftlicher Arbeiten aus den Gebieten des Ingenieurwesens, deren für eine Zeitschrift zu große Ausdehnung auf die Heft- oder Broschürenform hinweist. Bezügliche Anträge sind an den unterzeichneten Verleger zu richten, auch versendet derselbe auf Wunsch einen ausführlichen Plan des Unternehmens nebst einer eingehenden Erörterung der Beziehungen der „Fortschritte“ zu dem Handbuche der Ingenieurwissenschaften.

Die Fortschritte der Ingenieurwissenschaften erscheinen heftweise und nach Bedürfnis in drei Gruppen:

Erste Gruppe: Allgemeine Baukunde des Ingenieurs.

Zweite Gruppe: Fachwissenschaften desselben (ausschl. Eisenbahnbau).

Dritte Gruppe: Bau und Unterhaltung der Eisenbahnen.

(Näheres auf der anderen Seite des Umschlags.)

Die redaktionellen Arbeiten werden durch Professor Stadtbaurat a. D. Frühling in Dresden, durch die Professoren Landsberg, Lincke, Sonne, von Willmann in Darmstadt und durch Professor Loewe in München wahrgenommen. Eingriffe in das Sachliche der Bearbeitungen sind nicht beabsichtigt.

Eine angemessene Zahl von Heften ein und derselben Gruppe soll einen Band bilden. Ein solcher erhält einen besonderen ausführlichen Titel, einen entsprechenden Umschlag und ein zusammenfassendes Inhaltsverzeichnis.

Bewegliche Brücken.

Von

Wilhelm Dietz,

Professor an der Technischen Hochschule in München.

Mit 106 Textfiguren.

Leipzig.

Verlag von Wilhelm Engelmann.

1897.



V o r w o r t.

Das vorliegende Heft der Fortschritte der Ingenieurwissenschaften behandelt die beweglichen Brücken insoweit, als Brücken dieser Gattung im Verlaufe der letztverflossenen 9 bis 10 Jahre ausgeführt oder zur Ausführung in Vorschlag gebracht worden sind; es hat daher sowohl als Fortsetzung und Ergänzung der 3. Abteilung des II. Bandes des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften zu dienen, als auch, und zwar vorwiegend, dem praktisch thätigen Ingenieur über die während obengenannter Zeitspanne erfolgte Entwicklung dieses Zweiges der Brückenbaukunst Nachrichten zu geben.

Die ungemeine Ausdehnung des zu bewältigenden Stoffes, dessen Durcharbeitung erheblichen Zeit- und Müheaufwand erforderte, liefs es sehr wünschenswert erscheinen, die beweglichen Brücken, in verschiedene Gruppen geteilt, in mehreren Heften eingehender zu besprechen; davon mußte jedoch, sollte deren Erscheinen nicht ungebührliche Verzögerung erleiden, Abstand genommen und infolge dessen die Besprechung und Schilderung der einzelnen Bauwerke, mit Rücksicht auf den verfügbaren Raum, innerhalb der knappsten Grenzen gehalten werden. Eine weitere Schwierigkeit hatten die Herausgeber bei der bildlichen Wiedergabe der darzustellenden, oft ziemlich verwickelten Einzelheiten der mannigfaltigen Bauwerke zu überwinden. Die Entscheidung darüber, ob und inwieweit dies, trotz der hierauf verwendeten Zeit und Mühe, gelungen ist, möge dem nachsichtigen Urteil des Lesers anheimgestellt bleiben.

Zum Schlusse darf vielleicht auf den Anhang aufmerksam gemacht werden, in dem gezeigt wird, wie die Francke'sche Darstellung der Gleichung der elastischen Linie, welche der Autor aufgestellt und zur Lösung ziemlich schwieriger Aufgaben aus dem Gebiete der Theorie des eisernen Lang- und Querschwellen-Oberbaues, der Theorie des steifen Seilträgers und auch zur Bestimmung der Nebenspannungen in Fachwerksträgern benutzt hat, ganz besonders geeignet erscheint, wenn es sich um Aufgaben mannigfaltigster Art, den über mehr als 2 Stützen durchlaufenden Träger betreffend, handelt. In letzterem Falle lassen sich nach dieser Methode in einfachster, stets übersichtlicher Weise für den praktischen Gebrauch zweckentsprechende Formeln ableiten.

München und Darmstadt, im April 1897.

W. Dietz, Th. Landsberg.

Inhalt.

I. Drehbrücken.

	Seite
1. In Deutschland:	
a) Die Drehbrücken über und am Nord-Ostsee-Kanal (Kaiser Wilhelm-Kanal)	1
α) Eisenbahndrehbrücken bei Osterrönfeld	5
β) Straßendrehbrücke bei Rendsburg	9
γ) Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl	9
δ) Entwurf der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg für die Osterrönfelder Brücken	11
ε) Zweigeleisige Eisenbahnbrücke über die Obereider bei Rendsburg	11
b) Baakenbrücke über den Magdeburger Hafen in Hamburg	12
c) Eisenbahnbrücke über die Eider bei Friedrichstadt	15
d) Drehbrücke über die Peene bei Loitz	16
e) Drehbrücke mit Druckwasserbetrieb im Ruhrorter Hafen	17
f) Straßendrehbrücke über die untere Hafenmündung der neuen Rheinhafen-Anlage zu Ludwigshafen	19
g) Eisenbahndrehbrücke bei Camp-Carnin über den Peene-Strom	21
2. In England und den englischen Kolonien:	
a) Hawarden-Drehbrücke über den Dee-Fluß	22
b) Drehbrücken über den Manchester-Schiffskanal	25
α) Straßendrehbrücken über den Manchester-Schiffskanal	26
β) Barton-Kanal-Drehbrücke	26
c) Clarence-Brücke über den Taff-Fluß bei Cardiff	28
d) Drehbrücke über den Glamorganshire-Kanal	29
e) Entwurf einer schwimmenden Drehbrücke im Darling-Hafen bei Sidney	30
3. In den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika:	
a) Drehfeld der Interstate-Brücke in Omaha (Nebr.)	31
b) Brücke über den Themse-Fluß in Neu-London (Conn.)	33
c) Straßenbrücke über den Harlem-Fluß in der 3. Avenue, New-York	34
d) Viergeleisige Bahnbrücke über den Harlem-Fluß in New-York, 134. Straße	34
e) Winona-Bahnbrücke über den Mississippi-Strom	35
f) Eisenbahndrehbrücke bei Washington	36
g) Riparia-Drehbrücke über den Snake-Fluß	36
h) Zweigeleisige Alton-Eisenbahnbrücke (Illinois)	36
i) Eisenbahndrehbrücke in Texas mit Antrieb durch ein Pelton-Wasserrad	37
k) Passaic-Drehbrücke (New-York-Lake Erie-Western-Eisenbahn)	37
l) Selbstthätiger Drehbrückenverschluss	38
m) Entwurf zu einer Endhebevorrichtung für Drehbrücken	39
n) Führung einer elektrischen Straßenbahn über eine Drehbrücke	40
o) Doppel-Drehbrücke bei Columbus (Cleveland)	40
p) Preisbewerbung für eine bewegliche Brücke über den Duluth-Schiffkanal	42

	Seite
4. In anderen Ländern:	
a) Pollet-Drehbrücke in Dieppe (Frankreich)	44
b) Drehbrücke über den Hafen in Tarent (Italien)	46
c) Selbstthätige Riegelvorrichtung einer Drehbrücke über die untere Schelde bei Gent (Belgien)	48
Litteratur, Drehbrücken betreffend	49

II. Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken.

a) Tower-Brücke über die Themse in London	58
b) Kippbrücke der Liverpools Hochbahn	62
c) Klappbrücke in der Van Buren-Straße zu Chicago	63
d) Klappbrücke mit wagrechter Schwerpunktslage in Milwaukee	65
e) Klapp(Faltenzug-)brücke über den Chicago-Fluß in Chicago	67
f) Selbstthätige Leinpfad-Klappbrücke des Ost-Kanales in Frankreich	69
Litteratur, Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken betreffend	69

III. Hub- und Zugbrücken.

a) Hubbrücke in Hamburg	72
b) Zweigeleisige Eisenbahn-Zugbrücke über den Harlem-Fluß, New-York	72
c) Doppeldreh-Zugbrücke am Stanley-Dock (Liverpool)	73
d) Hubbrücke über den Chicago-Fluß in Chicago	75
e) Hubbrücke von Larrey (Dijon)	78
Litteratur, Hub- und Zugbrücken betreffend	80

IV. Roll- und Kranbrücken

Entwürfe für eine bewegliche Brücke über den Schiffahrtskanal in Duluth	82
Litteratur, Roll- und Kranbrücken und Brücken mit beweglicher Bühne betreffend	83

V. Schiffbrücken (schwimmende Brücken), Fähren und Landebrücken.

a) Pontonbrücke über den Düna-Strom bei Riga	84
b) Schiffsfähre bei Portsmouth	85
c) Fähre von Portugaleta	86
d) Schwimmende Fußgängerbrücke über die Mosel bei Koblenz	87
e) Fähre über den Michigan-See und Landungsbrücke dazu	87
f) Landungsstelle in Antwerpen am Kai Van Dyck	89
g) Schwimmende Treppe am Ausrüstungshafen zu Kiel	90
Litteratur, Schiffbrücken (schwimmende Brücken), Fähren und Landebrücken betreffend	90
Werke und Schriften allgemeinen Inhaltes	93

VI. Zerlegbare Brücken und Brücken für Kriegszwecke

a) Eiffel's zerlegbare Brücken	94
b) Zerlegbare Brücken nach dem System Henry und Fives-Lilles	95
c) Zerlegbare Brücken nach dem System Marcille	95
Litteratur, Zerlegbare Brücken und Brücken für Kriegszwecke betreffend	95

VII. Vergleichende Übersicht der neueren beweglichen Brücken

VIII. Neuere theoretische Untersuchungen	100
Litteratur hierzu	101

IX. Anhang.

Kurze Entwicklung einiger einfacher Formeln für den durchlaufenden Träger.

A. Unveränderliches Trägheitsmoment.

	Seite
1. Der über zwei ungleich lange Öffnungsfelder durchlaufende Träger	110
a) Die Stützen liegen in einer Geraden	110
b) Änderung der Höhenlage der Mittelstütze	112
2. Der durchlaufende Träger über 3 Stützen mit überhängendem Ende und ungleicher Höhenlage der ersteren	113
3. Der durchlaufende Träger über 3 ungleiche Öffnungen; die Stützen liegen in einer Geraden	113
4. Der durchlaufende Träger über 3 Öffnungsfelder mit gleich großen Außenöffnungen	114
Beispiele	114
5. Durchlaufender, symmetrischer Träger über 4 in einer Geraden liegende Stützpunkte	115
Beispiel	116
6. Symmetrischer, gleicharmiger, über 4 Stützen durchlaufender Träger mit Gelenkpunkt in der Mitte des Trägersystemes	116
Beispiel	117
7. Symmetrischer, über 6 Stützen durchlaufender Träger mit Gelenkpunkt in der Mitte und Querkraft-Nullfeldern über den Pfeilerfächern	117
8. Der über 3 Stützen durchlaufende Träger unter dem Einfluß von Längskräften	118
8a. Sonderfall	119
Beispiel	119

B. Veränderliches Trägheitsmoment.

1. Der durchlaufende Träger über 3 Stützen, die in einer Geraden liegen	120
2. Das Trägheitsmoment ist stetig veränderlich	121
Beispiel	123
3. Das Trägheitsmoment ist sprungweise veränderlich	124
a) Der durchlaufende Träger über 3 Stützen, die in einer Geraden liegen	124
b) Überhöhung der Mittelstütze um einen gegebenen Betrag	128
Beispiel	128
4. Beliebige Änderungen in der Höhenlage der ursprünglich in einer Geraden gelegenen Stützpunkte: beim durchlaufenden Träger über mehr als 2 Stützpunkte	130
5. Berechnung der inneren Kräfte in dem über 2 Öffnungsfelder durchlaufenden Fachwerksträger (Drehbrücken)	130

C. Der durchlaufende Träger mit unveränderlichem Trägheitsmoment auf elastischen Stützpunkten.

1. Anordnung: Drehbare Auflagerung	130
Beispiel	131
2. Anordnung: Starre Auflagerung	131

IX. Appendix

Index of the names of the persons mentioned in the text.

100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

I. Drehbrücken.

1. In Deutschland.

a. Die Drehbrücken über und am Nord-Ostsee-Kanal (Kaiser Wilhelm-Kanal) (Fig. 1 bis 13), [Litt. 74].

Bei Erbauung dieser Wasserstrasse mußten zur Überführung der durch den Kanal durchschnittenen Straßen, Wege und Eisenbahnen 2 Straßenbrücken, 5 Eisenbahnbrücken und 16 Fähren hergestellt werden; von den Brücken wurden mit Rücksicht auf die bestehenden Lage- und Höhen-Verhältnisse vier als bewegliche (Dreh-)Brücken mit je 50 m nutzbarer Lichtweite ausgeführt und soll auf dieselben hier näher eingegangen werden.

Nur eine dieser vier Brücken ist eine Straßenbrücke und zwar die südlich von Rendsburg gelegene; wenige 100 m östlich hiervon führen zwei weitere Drehbrücken (je ein Geleis der Eisenbahn Neumünster-Rendsburg) bei Osterrönfeld über den Kanal, während die dritte Eisenbahndrehbrücke (für die eingleisige Marschbahn) bei Taterpfahl den Kanal kreuzt. Diese sämtlichen Drehbrücken sind ungleicharmig, werden mittels Wasserdruckbetriebes bewegt und ist deren allgemeine Anordnung eine ähnliche bis auf später zu besprechende Einzelheiten.

Die Straßendrehbrücke soll regelmäfsig geschlossen bleiben und nur für die Durchfahrt von Schiffen geöffnet, die Eisenbahnbrücken dagegen sollen regelmäfsig geöffnet sein und nur kurz vor der Überfahrt eines Zuges geschlossen werden. Zur Sicherung des Bahnverkehrs sind Signalvorrichtungen angeordnet, deren Stellung von der Brückenstellung abhängt. Die Straßendrehbrücke und die Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl sind rechtwinkelig, die beiden Eisenbahndrehbrücken bei Osterrönfeld unter einem Winkel von 70° über den Kanal geführt.

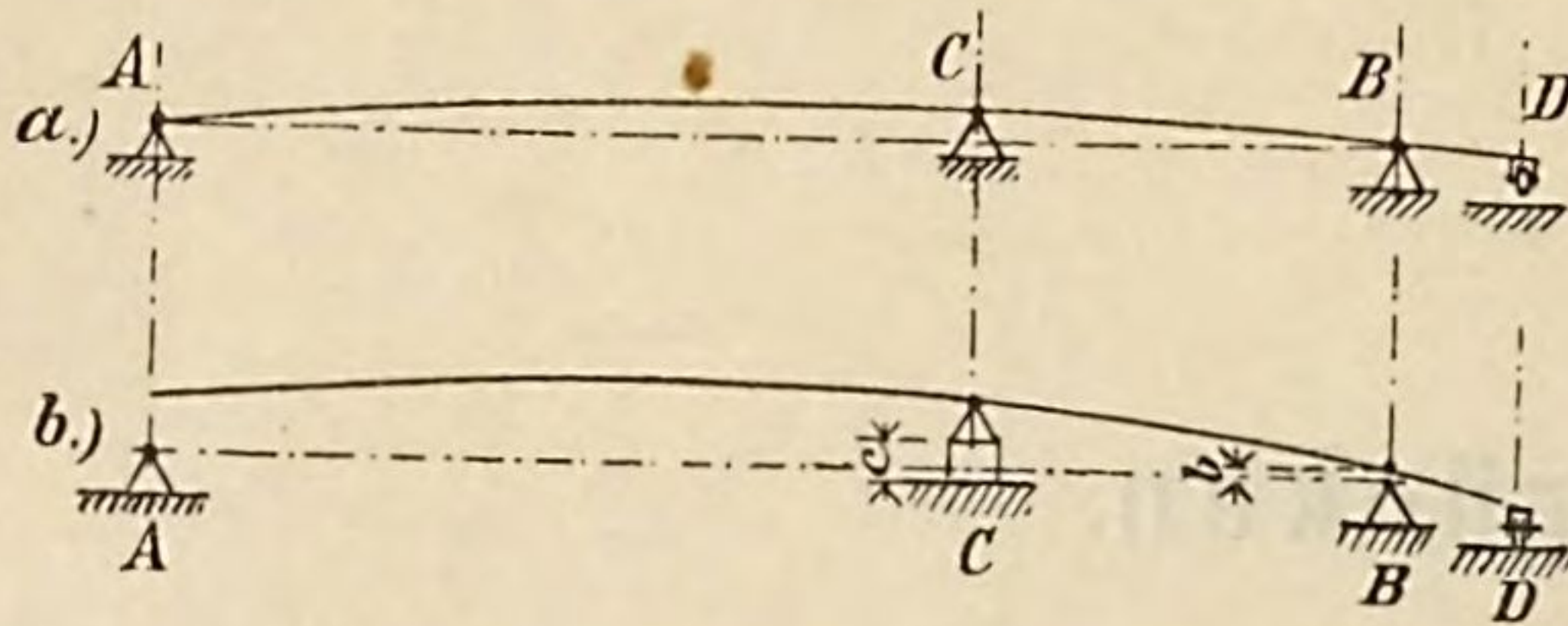
Folgende Anordnungen sind für alle 4 Brücken gleich oder sehr ähnlich und können daher gemeinsam besprochen werden.

Die Hauptträger sind ungleicharmige Fachwerke mit einfachen, fallenden und steigenden Schrägstäben (siehe auch Fig. 10, S. 9); der lange Arm AC überdeckt die Schiffsfahrtsöffnung, der kurze Arm CB , an welchen ein frei ragendes Feld BD schliesst, dient als Gegengewicht beim Aufdrehen und trägt zu diesem Behufe die Ballastkästen G (Fig. 10); er ist verhältnismäfsig lang mit Rücksicht auf den Winddruck, um die Brücke leicht gegen letzteren drehen zu können. Zu diesem Zwecke ist auch noch eine Windschürze W (Fig. 10) aus Wellblech angebracht, welche bezweckt, das Winddrehmoment für beide Arme auszugleichen. Im geschlossenen Zustand (Fig. 1 a) ruht der Träger auf den beiden Endlagern A und B und einem festen Auflager am Mittelpfeiler C . Der

Kolben der Hebepresse C ist hierbei nicht belastet und die Laufräder D schweben noch frei. Während des Aufdrehens (Fig. 1 b) ruht die Brücke nur mehr auf dem Dreh-

Fig. 1.

Drehbrücken vom Nord-Ostsee-Kanal.



zapfen (Kolben der Hebepresse) und dem am Ende des kurzen Armes befindlichen Laufrad D , das indessen nur so stark belastet wird, daß ein Kippen durch Schnee und Wind nicht eintreten kann.

Um das Öffnen und Schließen der Brücke in kürzester Zeit, auch bei Sturm zu ermöglichen, ist Wasserdruckbetrieb bei verhältnismäßig schwachen Maschinen unter

Zuhilfenahme von Kraftsammlern, die für kurze Zeit eine sehr bedeutende Arbeitsleistung bethätigen können, eingerichtet. — Das Druckwasser wird für jede Brücke in einer eigenen Pumpenanlage erzeugt und sind überdies die Stationen für die Straßenbrücke und für die beiden Osterrönfelder Bahnbrücken miteinander verbunden, sodaß jede dieser Stationen im Bedarfsfalle beide Brücken bedienen kann. Jede Pumpstation besitzt 2 Cornwellkessel mit je 60 qm Heizfläche und 6 Atm. Überdruck, von welchen einer ständig in Betrieb ist; eine Zwillinghochdruckmaschine mit Rider-Expansionssteuerung mit zwei Cylindern von 325 mm Durchmesser und 400 mm Hub, die 2 mit Differential-Taucherkolben ausgestattete Hochdruckpumpen für 50 bis 60 Atm. Betriebsdruck treibt, und einen Wasser-Kraftsammler von 600 mm Kolbendurchmesser und 6 m Hub. — Die Gewichtsbelastung besteht aus Sand und Kies in einem schmiedeeisernen Behälter. Ein Sicherheitsventil verhindert zu hohes Steigen der Last, ein selbstthätiges Bremsventil sichert gegen die Folgen von Rohrbrüchen, und eine mit dem Expansionsschieber der Dampfmaschine verbundene Druckwasser-Umsteuerung bewirkt selbstthätig das Anlaufen der Maschine, sobald die Last 1,3 m tief abgesunken ist, sowie das Abstellen bei voller Höhe.

Mittels dieser in den 3 Stationen genau gleichen Anlagen kann das Öffnen und Schließen, sowie das Heben und Senken der Osterrönfelder Brücken in je 120, der Straßendrehbrücke und der Taterpfahler Bahnbrücke in je 130 Sekunden bewirkt werden. Die Kraft ist ausreichend um beide Osterrönfelder 4mal und die Straßendrehbrücke 6mal in einer Stunde aus- und einzudrehen. Sollte im äußersten Fall der Wasserdruckbetrieb vollständig versagen, so ist noch eine Hilfspumpe mit Petroleummotor und Handbetrieb vorgesehen.

Soll die Brücke gedreht werden, so wird Druckwasser in die Hebepresse eingelassen und die Brücke angehoben, wobei sie infolge des Übergewichtes des kurzen Armes um einen auf dem Kopfe des Kolbens angebrachten Stahlzapfen von 1100 mm Breite und 300 mm Länge (Fig. 2) umkippt; die Breite wurde so groß gewählt um die Standicherheit gegen seitliche Kräfte möglichst groß zu erhalten. — Wird der Kolben der Hebepresse um beiläufig (bei den verschiedenen Brücken ändern sich diese Zahlen etwas) 98 mm gehoben, so werden die Endauflager am langen Brückenarmende von den Auflagern abgehoben; ein weiteres Anheben bis zu 160 mm genügt, um auch daselbst die keilförmig gestalteten Einklinkvorrichtungen zu lösen, wobei sich auch die Endauflager B des kurzen Armes um ungefähr 6 mm von den Lagerkörpern abheben und die Laufrollen D zur Wirksamkeit gelangen; letztere laufen auf einer kreisförmig gebogenen, auf einem Mäuerchen F (Fig. 3) gelagerten Laufschiene und es kann die Brücke nun mit geringer Kraft gedreht werden. Die Drehung erfolgt durch 2 auf der Brücke gelagerte Druckwasserflaschenzüge (k in Fig. 3 u. Fig. 5), von denen der eine das Aus-, der andere

[illegible]

das Eindrehen bewirkt. Die Kraft wird durch 2 übereinander liegende Stahldrahtseile d von 80 mm Durchmesser, die sich um den Rand des Pfeilers über gusseiserne, verankerte Seilkranzabschnitte (Fig. 4) legen und deren Enden an tief in die Pfeiler greifende Anker befestigt sind, übertragen. Die Seile sind verzinkt und bestehen aus je 798 Drähten von je 1,61 mm Durchmesser, nach der Verzinkung. Der Führungskranz-Durchmesser = 8,72 m ist möglichst groß gewählt, sodass für gewöhnlich 30 t, bei Sturm 60 t und bei dem größten Winddrucke: 250 kg auf den qm, erst 90 t Zug in einem solchen Seil hervorgehoben werden.

Fig. 3.

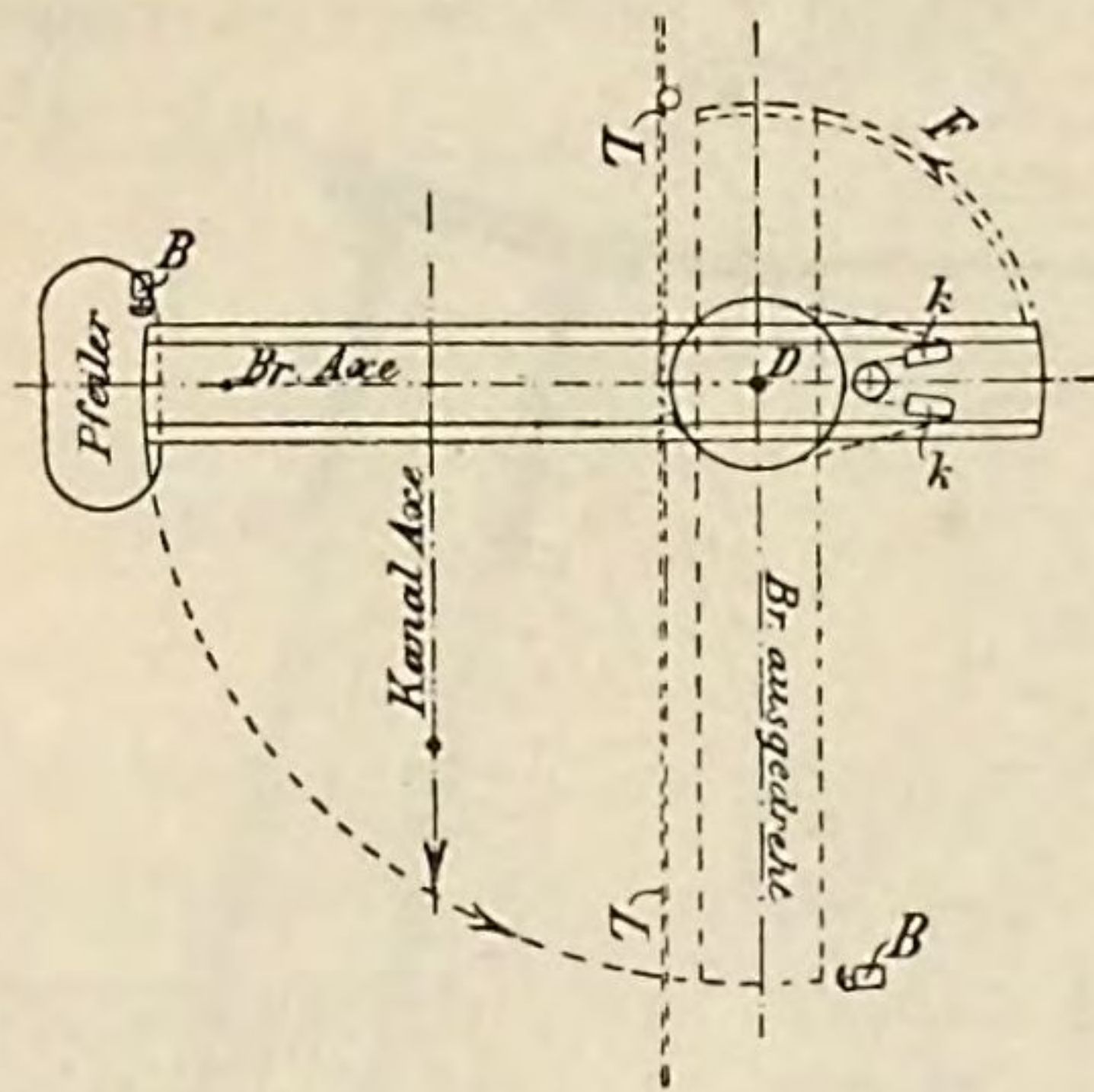


Fig. 4.

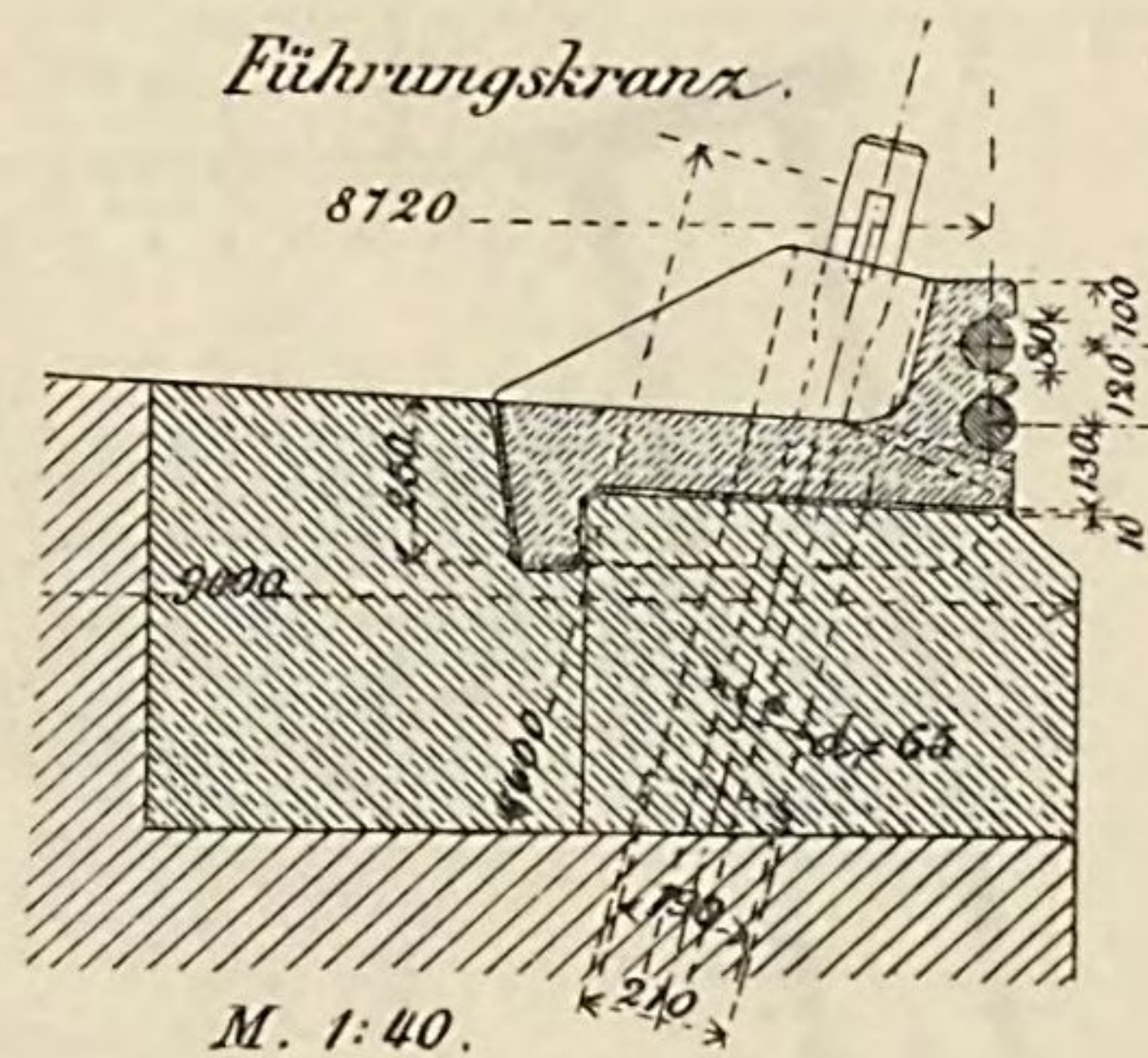
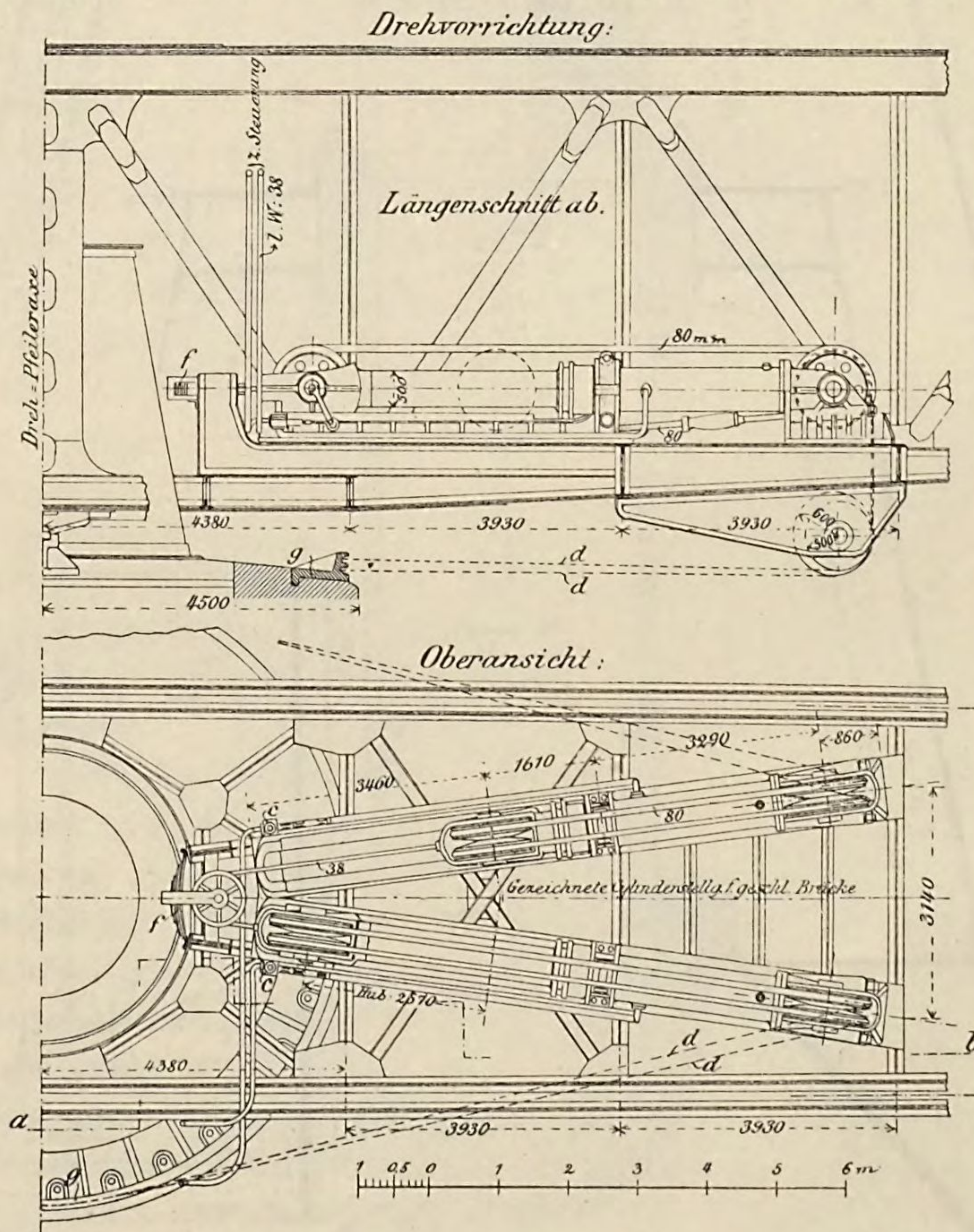


Fig. 5.

Vorrichtung zum Drehen der Osterrönfelder Drehbrücken.



ein mitten in dem Hebekolben (Fig. 2) angebrachtes doppeltes Stopfbüchsenrohr zu der Steuerung und von derselben in die Hebe- und Drehcylinder; das verbrauchte Wasser wird auf demselben Wege durch eine zweite Leitung in die Speisebehälter der Pump-

Anker befestigt sind, übertragen. Die Seile sind verzinkt und bestehen aus je 798 Drähten von je 1,61 mm Durchmesser, nach der Verzinkung. Der Führungskranz-Durchmesser = 8,72 m ist möglichst groß gewählt, sodass für gewöhnlich 30 t, bei Sturm 60 t und bei dem größten Winddrucke: 250 kg auf den qm, erst 90 t Zug in einem solchen Seil hervorgehoben werden.

Bei 55 Atm. Druck kann die Brücke noch langsam gegen einen Wind von 100 kg auf den qm gedreht werden; es sind jedoch alle Teile für einen während der Drehung auftretenden Druck von 250 kg auf den qm berechnet.

Die Steuerung für Heben und Drehen erfolgt von einem heizbaren Steuerhäuschen aus, das auf der Brücke über dem Drehpfeiler angebracht ist, da von hier aus am besten der Kanal, die Bahn und die Brücke selbst überblickt werden kann. — Das Druckwasser fließt vom Kraftsammler durch

station zurückgedrückt; im Winter besteht die Druckflüssigkeit zur Sicherung gegen Einfrieren aus 100 Teilen Glycerin und 80 Teilen Wasser. Die Brücke dreht mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 2 m in 1 Sekunde; gegen das Ende der Bewegung wird der Zufluß der Druckflüssigkeit selbstthätig abgesperrt und die lebendige Kraft durch aufgestellte Wasserpuffer *B* (Fig. 3, 6 u. 7) von 20 t Widerstand und 1 m Weg aufgezehrt; die Puffer sind ähnlich wie die hydraulischen Eisenbahnpuffer ausgebildet. Die genaue richtige Endstellung der Brücke wird dem Maschinisten mittels Stromschlusses einer elektrischen Klingel angezeigt. Die Brücke kann nun gesenkt werden, und es verriegelt sich bei den Eisenbahnbrücken das Ende des langen Armes durch eine Einklinkvorrichtung selbstthätig dergestalt, daß Schienenkopf genau an Schienenkopf zu stehen kommt. Am Ende des kurzen Armes ist eine besondere Einrichtung getroffen, mittels des noch später zu besprechenden Pendelschlittens, um die durch ungleiche Erwärmung der Hauptträgergurtungen hervorgerufene Verkrümmung der Fahrbahn unschädlich zu machen. Nach Absenkung der Brücke wird auch dieser letztere vom Steuerhäuschen aus durch einen Hebel verriegelt und gleichzeitig durch Umlegen des Hebels die Steuerung festgestellt, sodaß die Brücke nicht mehr bewegt werden kann.

Sämtliche Auflager wurden als mehrteilige, mittels Keilen stellbare Kipplager (Fig. 2) ausgebildet. Die Unterteile derselben sind, da sie zeitweilig ohne Belastung, durch Steinschrauben mit dem Mauerwerk fest verbunden. Von den Unterteilen der Mittelaufleger (über Drehpfeiler) sind für jede Brücke 4 Stück, 2 für die geschlossene und 2 für die geöffnete Brücke, angebracht; bei den Osterrönfelder Eisenbahnbrücken sind sie überdies, um den Seitenschub der geneigten Tragwände wirksamer aufnehmen zu können, wechselseitig verankert.

Die Hauptträger der eisernen Überbauten sind nach einheitlichen Grundsätzen durchgebildet. Der Gurtungsquerschnitt ist trogförmig (Fig. 2); sämtliche Schrägstäbe und lotrechte Stäbe sind steif ausgebildet, überhaupt schlaaffe Glieder in dem ganzen Unterbau nicht verwendet worden. Bei der Anordnung der Gurtungsquerschnitte sollte der Spannungszuwachs, gegen den Drehpfeiler hin, möglichst von dem Querschnittszuwachs aufgenommen werden, weshalb die Stehbleche entsprechend doppelt und dreifach aufeinandergelegt und dadurch eine allzu große Anzahl von Deckplatten vermieden wurde.

Zum Schutze gegen einfahrende Schiffe sind die Brücken mit hölzernen Leitwerken *L* versehen (Fig. 3), sowie die Drehpfeiler sehr mächtig gehalten; Durchmesser = 9 m.

Das Material für sämtliche Überbauten ist durchaus Schweißeisen.

Die Entwürfe zu den Brückenbauten und zur allgemeinen Anordnung der Bewegungsvorrichtung wurden im Bureau der Kaiserlichen Kanal-Kommission, zur Tragkonstruktion vom jetzigen Regierungs- und Baurat Greve in Stettin, die zu den Einzelheiten der Maschinerie und Bewegungsvorrichtungen von der Firma Haniel & Lueg in Düsseldorf bearbeitet, und letzterer auch die Ausführung übertragen. Die Ausführung der eisernen Überbauten erfolgte durch die Brückenbauanstalt Harkort in Duisburg, die der Pfeilerbauten durch die Firma Ph. Holzmann in Frankfurt a. M. mit Ausnahme der Taterpfahler, welche der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg übertragen war.

Besondere Eigentümlichkeiten und Hauptabmessungen der einzelnen Brücken:

α) Eisenbahndrehbrücken bei Osterrönnfeld (Fig. 2 bis 9). Bahn- und Kanalaxe kreuzen sich unter einem Winkel von 70°; Öffnen und Schließen erfolgt stets nach diesem spitzen Winkel.

Die beiden Hauptträger, in der äußeren Erscheinung ähnlich den in Fig. 10, S. 9 dargestellten, sind, ganz abweichend von allen bestehenden Drehbrücken, in die

Neigung = 1 : 4 (Fig. 2) gestellt, um durch diese Schrägstellung folgende Vorteile zu erreichen: Die geringe Entfernung der beiden Obergurtungen (2,4 m) hat, da die Fahrbahn oben liegt, ein geringes Gewicht der Fahrbahntafel zur Folge, während die wesentlich größere Entfernung der Untergurtungen die Anordnung einer genügend widerstandsfähigen, wagrechten Verspannung gegen seitliche Kräfte durch Winddruck beim Drehen zulässt, und hauptsächlich durch diese Anordnung zwischen den beiden Hauptträgern für eine standsichere Unterstützung des Drehzapfens genügend Raum geschaffen wird. Die Trägerlänge eines Öffnungsfeldes beträgt 99,15 m = ($AC + CB + BD = 59,40 + 35,82 + 3,93$ m), Fig. 1; die Trägerhöhe über Pfeiler, in Tragwandebene gemessen, 6,25 m; mithin findet statt: $\frac{6,25}{99,15} = \frac{1}{15,9}$.

Der halbkugelförmig gestaltete Hebeylinder aus Stahlguss (Fig. 2) hängt in einem kegelförmigen Unterbau und der gusseiserne Kolben trägt eine Säule mit dem bereits erwähnten, stellbaren Stahlguss-Kipplager, auf dem die Brücke beim Heben und während des Drehens ruht. Anzuheben ist ein Gewicht von 510 t, das im Cylinder einen Druck von 46 Atm. während des Anhebens und von 42 Atm. in der Ruhestellung (gehoben) erzeugt. Zur Aufnahme des Winddruckes wird die Hebesäule in einem Halslager geführt, das in einem schmiedeeisernen Ring von kastenförmigem Querschnitt liegt, der sich auf einen Kegelmantel aus abgesteiftem Eisenblech stützt. Dieser Kegel ist mit dem den Hebeylinder tragenden Kegel auf einer gemeinsamen Grundplatte gelagert, damit das in ersterem auftretende Kippmoment durch den letzteren aufgehoben wird. Die angehobene Brücke ist durch die Laufrolle (Fig. 8 b, c) am Ende des kurzen Armes nur in einem Punkte gestützt und es muß das seitliche Kanten der Brücke durch die bereits erwähnte große Breite des Kippzapfens hintangehalten werden. Die Verbindung der auf dem Pfeiler fest gelagerten und am Drehzapfen (Königsstuhl) hochgeführten Druck- und Rückfluß-Rohrleitung mit den auf der Brücke gelagerten und mit dieser drehenden Rohrleitung geschieht durch eine doppelte Stopfbüchse, von der ein Teil fest mit dem Königsstuhl, der andere fest mit der Brücke verbunden ist. Beide Teile lassen sich teleskopartig ineinander verschieben und drehen. Aus der festen Leitung tritt das Wasser zunächst in einen gusseisernen Ring und erst durch diese in die Stopfbüchse; der Ring geht durch Ausschnitte in den Hauptquerträger der Brücke (Fig. 2) und ermöglicht dadurch das ungehinderte Heben und Drehen derselben.

Das Druckwasser fließt aus dem Kraftsammler durch die feste Rohrleitung und die eine Hälfte des Ringrohres in das innere Rohr der Stopfbüchse und von dieser aus durch ein Gelenkrohr (wegen der Kippbewegung beim Anheben der Brücke) zu der Steuerung, von wo es mittels 3 nebeneinander liegender, durch Handräder bewegter Schieber entweder dem Hub- oder einem Drehcylinder zugeführt werden kann. Die Rückleitung von diesem Cylinder führt wieder durch die Steuerung, dann in das äußere Rohr der Stopfbüchse und durch die andere Hälfte des Ringes weiter zur Pumpstation.

Bei abgesenkter Brücke steht auf dem Kolben des Hebeylinders bloß der Druck aus dem höher liegenden Abwasserbehälter, der genügt das Gewicht des Kolbens und der Hebesäule zu tragen. Im übrigen ruht das volle Gewicht auf den festen Auflagern A, B und C, deren Höhenlage für die eingedrehte Brücke dem unbelasteten Zustand der Brücke entspricht, für die ausgedrehte Brücke aber so bemessen ist, daß die Brücke nur wenige Centimeter gesenkt zu werden braucht, um am Ende des langen Armes fest aufzuliegen.

Da die Seile *d* (Fig. 5) besonders im Anfang des Betriebes stark längen, so sind sie mittels einer Birne an lange Spannschrauben angeschlossen, die durch die Lager-

stühle der Cylinder gehen und ein Nachziehen der schlaff gewordenen Seile gestatten. Zur Erhaltung der Spannung während des Drehens sind die Enden der Kolben durch ein leichtes Spannseil verbunden, das über eine auf einer starken Feder f befestigte Rolle läuft.

Grundlagen der statischen Berechnung. Als veränderliche Belastung wurden der Rechnung ein Winddruck von 150 kg/qm für die eingeschwenkte fest gelagerte, und von 250 kg/qm für die frei schwebende Brücke; Eisenbahnzüge mit 2 schwersten Schnellzuglokomotiven; um 30° C. ungleiche Erwärmung der Gurtungen und ungenaue Höhenlage bis zu 1 cm zu Grunde gelegt. Hierbei darf die spezifische Spannung aus dem Eigengewicht allein 700 kg f. d. qcm , aus dem Eigengewicht und dem Winddruck (150): 800 kg/qcm , aus dem Eigengewicht und dem Winddruck (250): 1000 kg/qcm für die frei schwebende Brücke nicht überschreiten; bei eingeschwenkter Brücke sind die entsprechenden Grenzwerte für Eigengewicht und Eisenbahnzug: 700 kg/qcm , für Eigengewicht Zug und Wind (150): 800 kg f. d. qcm und für Eigengewicht, Zug und ungleiche Erwärmung der Gurtungen: 850 kg/qcm . Die Biegungsspannungen in den oberen Gurtungen durch die unmittelbare Auflagerung der Querträger sind bei der Querschnittsabmessung entsprechend berücksichtigt worden.

Die größten Spannungswerte treten für die frei schwebende Brücke auf.

Fig. 6. Auflagerung des langen Brückenarmes der Drehbrücken bei Osterrönnfeld bei ausgeschwenkter Brücke.

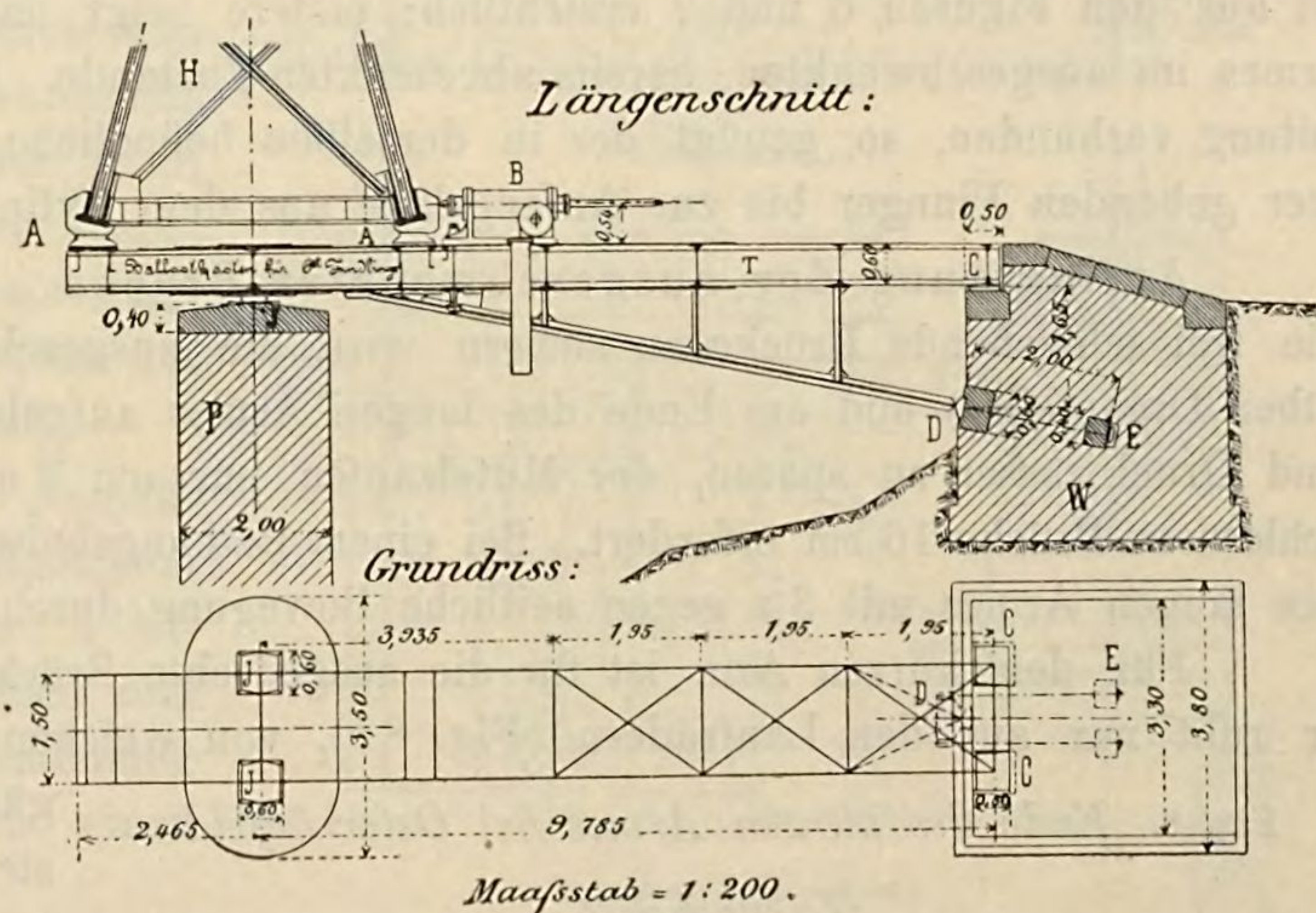
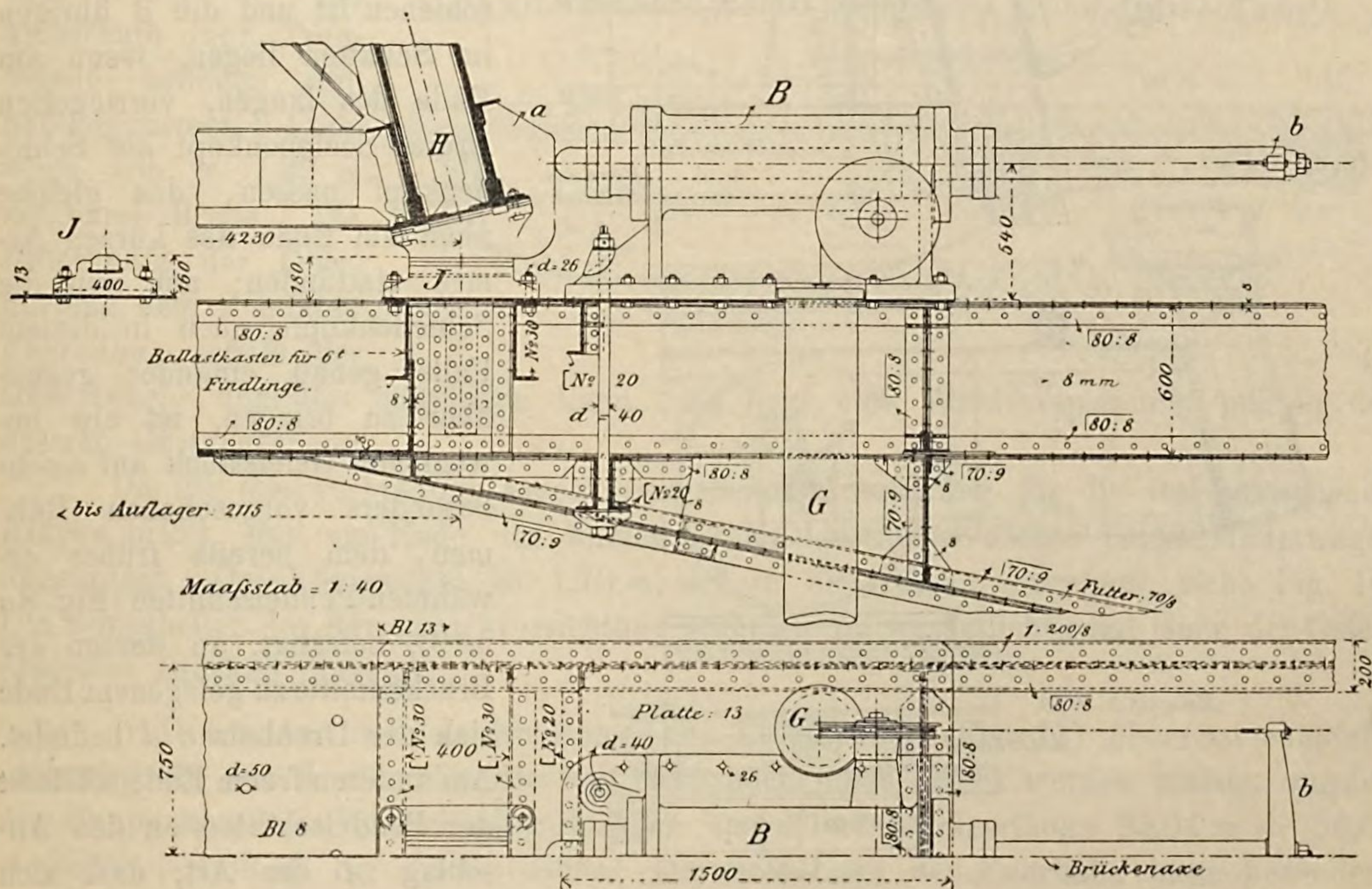


Fig. 7. Puffer-Vorrichtung bei den Drehbrücken in Osterrönnfeld.



Wasserverbrauch. Für das zu hebende Gewicht von 425 t (400 t Eisenkonstruktion und 25 t Gewicht für den Drehcylinder) ergibt sich das erforderliche Wasservolumen zu 1210 l für das vollständige Öffnen und Schließen einer Brücke und verteilt sich wie folgt: für das Anheben bei 150 mm Hub 140 l; für das Öffnen 520 l; für das Absetzen auf die Mittelstützen und Wiederanheben um 30 mm 30 l; für das Schließen 520 l.

Da beide Eisenbahnbrücken in 5 Minuten geöffnet und geschlossen und nach 10 Minuten dieser Vorgang wiederholt werden soll, hat sich der Plungerdurchmesser des Kraftsammlers zu 600 mm bei 6 m Hubhöhe ergeben.

Puffer- und Hemmvorrichtung. Die Anordnung der bereits erwähnten Puffer ist aus den Figuren 6 und 7 ersichtlich; erstere zeigt das Ende des langen Brückenarmes im ausgeschwenkten, bereits abgesenkten Zustande. Da der Puffer mit der Rückleitung verbunden, so genügt der in derselben befindliche Druck von 1 Atm., um die leer gehenden Plunger bis zur Anfangslage aus dem Cylinder zu schieben.

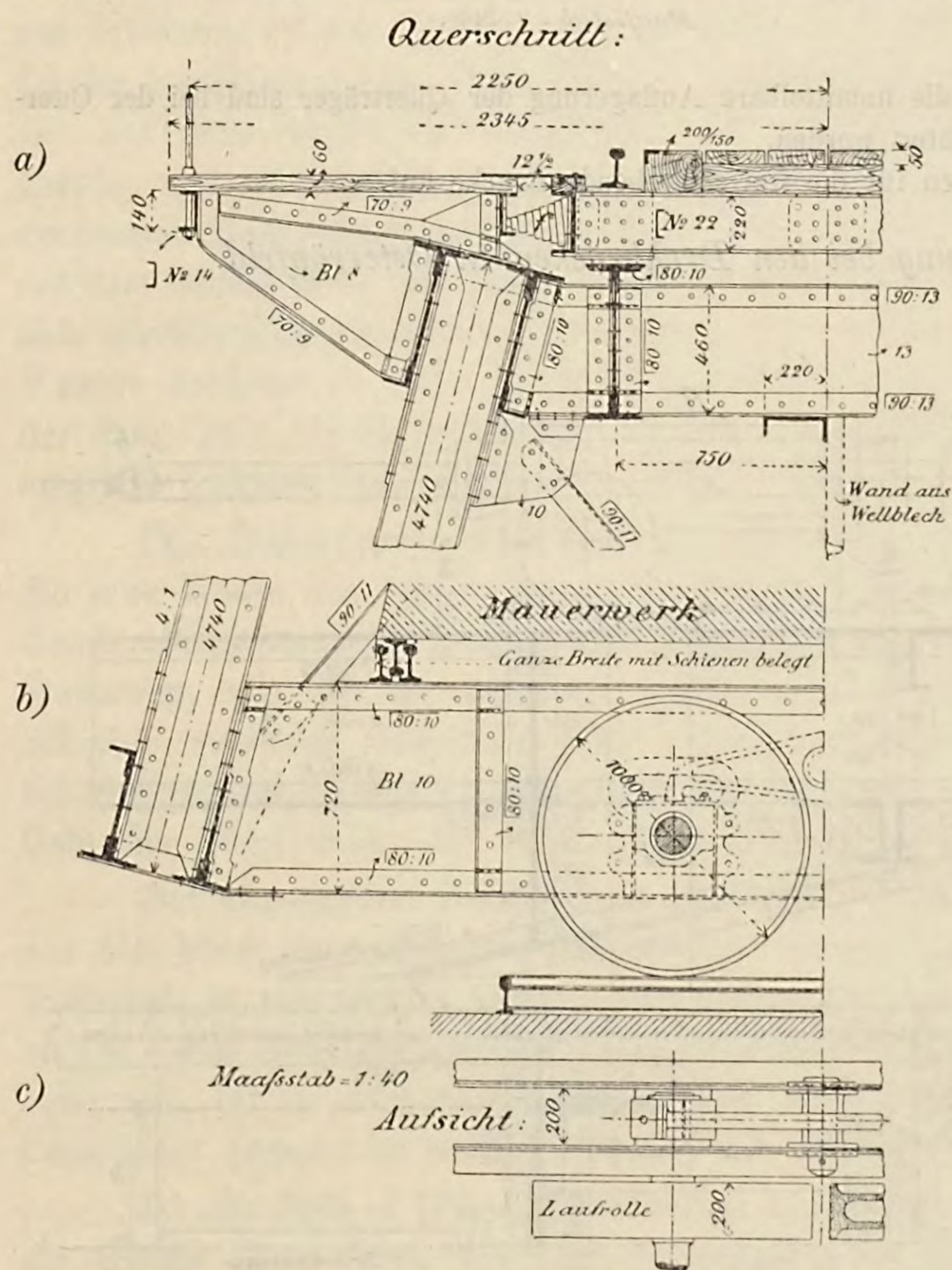
Auflagerung der ausgeschwenkten Brücke. Um bei stürmischem Wetter die frei schwebende Brücke zu sichern wird die ausgeschwenkte Brücke in der Mitte (über Drehpfeiler) und am Ende des langen Armes aufgelagert, dabei jedoch, um Zeit und Druckwasser zu sparen, der Mittelzapfen nur um 3 cm gesenkt, während die geschlossene Brücke 16 cm erfordert. Bei einem Reibungsbeiwert $f = 0,33$ wird das Ende des langen Armes mit 3 t gegen seitliche Bewegung durch Wind festgehalten.

Für den kurzen Arm ist für die ausgedrehte Brücke kein Auflager vorgesehen; er ruht nur auf den Laufrädern (Fig. 8 *b*), von welchen jedes bei dem denkbar un-

günstigsten Belastungsfall höchstens 16,7 t Druck erhalten kann.

Pendelschlitten. Die ausgeschwenkte Brücke liegt von Ost nach West, es wird daher, da nur ein Untergurt voll beschienen ist und die 3 übrigen im Schatten liegen, wenn am Ende des langen, verriegelten Armes Schienenkopf auf Schienenkopf passen, das gleiche nicht am Ende des kurzen Armes stattfinden; um nun die Schienenköpfe auch in diesem Falle genau einander gegenüber zu bringen, ist ein bewegliches Geleisstück auf einem besonders vorgesehenen Rahmen, dem bereits früher erwähnten Pendelschlitten (Fig. 8a u. 9), befestigt, an dessen der Brückenmitte zu gelegenen Ende sich der Drehbolzen *d* befindet. Am anderen freien Ende schließt der Pendelschlitten an den Anschlag *A* der Art, daß sich

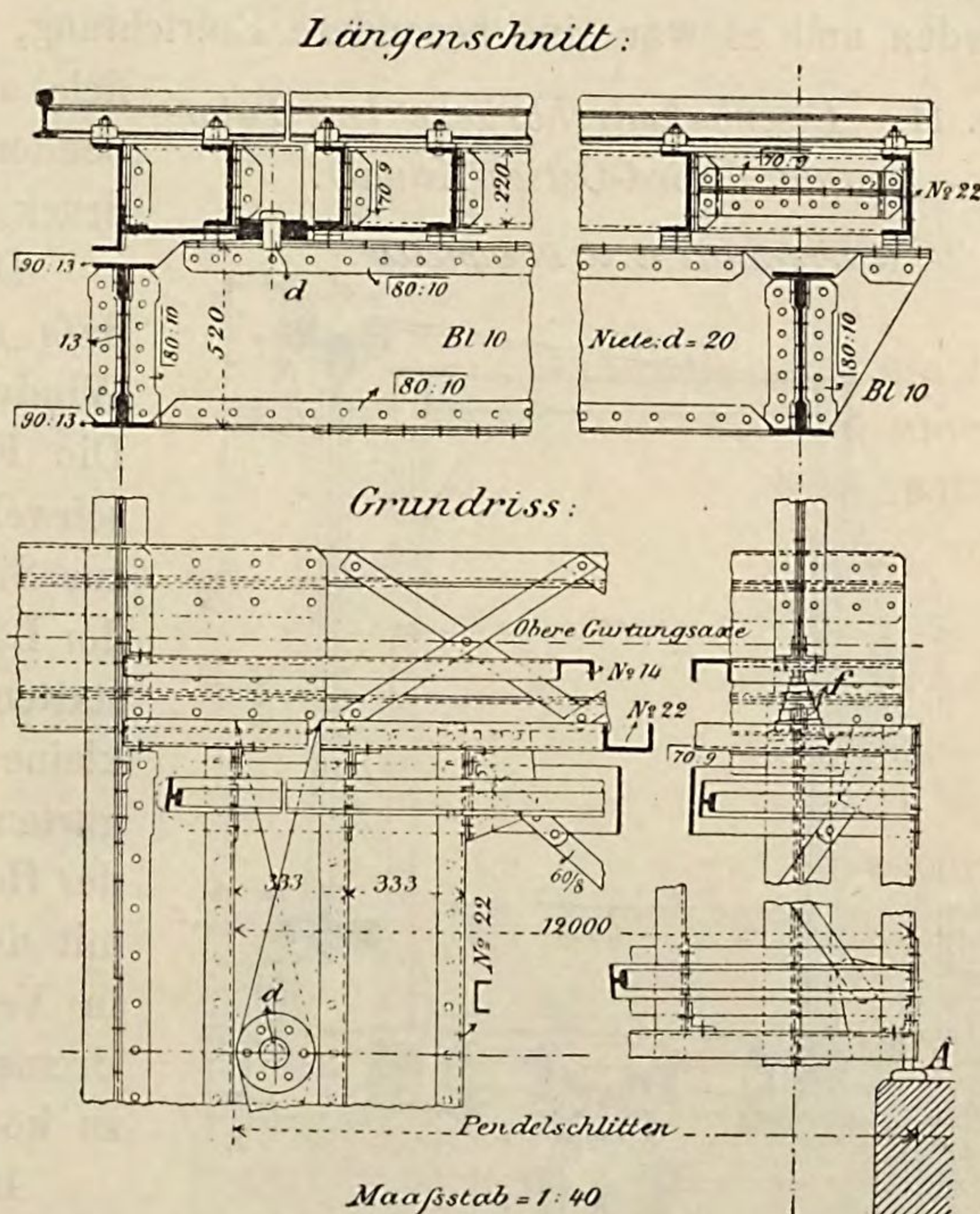
Fig. 8. *Ende des kurzen Armes bei Osterrönfeld.*



genau Schienenkopf gegen Schienenkopf stellt. Gegen diesen Anschlag wird der Pendelschlitten durch die Spiralfeder f gedrückt und überdies durch eine seitliche Verriegelung gegen wagrechte Verschiebungen gesichert. Durch diese Anordnung ist erzielt, daß der im Grundriß des Geleises sich ergebende Knick das bei der preussischen Normalweiche übliche Maß von 33 Minuten nicht überschreitet, wobei noch zu beachten, daß ohnehin mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit die Brücke nur langsam befahren werden darf.

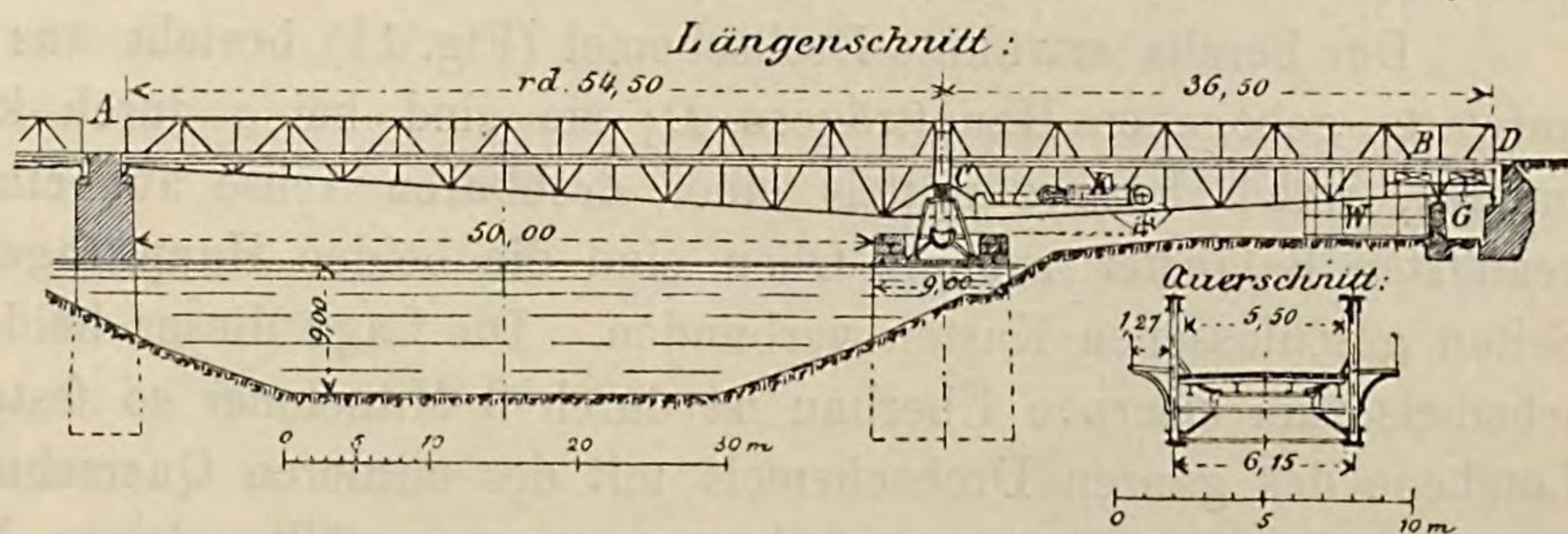
Der Zeitaufwand zum einmaligen Öffnen beträgt bei gewöhnlichem Wetter $1\frac{3}{4}$ Minuten, wovon $\frac{1}{2}$ Minute zum Anheben, $1\frac{1}{4}$ Minuten zum Drehen erforderlich; die Bedienung jeder Brücke erfolgt durch einen Mann.

Fig. 9.
Pendelschlitten bei den Drehbrücken in Osterrönfeld.



β) Die Straßendrehbrücke bei Rendsburg (Fig. 10) übersetzt den Kanal rechtwinkelig. Die Gesamtträgerlänge beträgt $91,90 \text{ m} = (55,05 + 33,21 + 3,64 \text{ m})$; die Entfernung der beiden lotrecht stehenden Hauptträger $6,15 \text{ m}$ von Tragwand-Mitte zu Mitte; Trägerhöhe über Pfeiler = 7 m ; außerhalb der Tragwände befinden sich auf Kragarmen 2 Fußwege von je $1,25 \text{ m}$ nutzbarer Breite. Die Unterkante der Obergurtung liegt 2 m über Fahrbahn, sodaß der Querverkehr ungestört stattfinden kann. Es liegt eine Windverspannung nur in der unteren Gurtungsebene.

Fig. 10.
Straßendrehbrücke bei Rendsburg (Nord-Ostsee-Kanal).



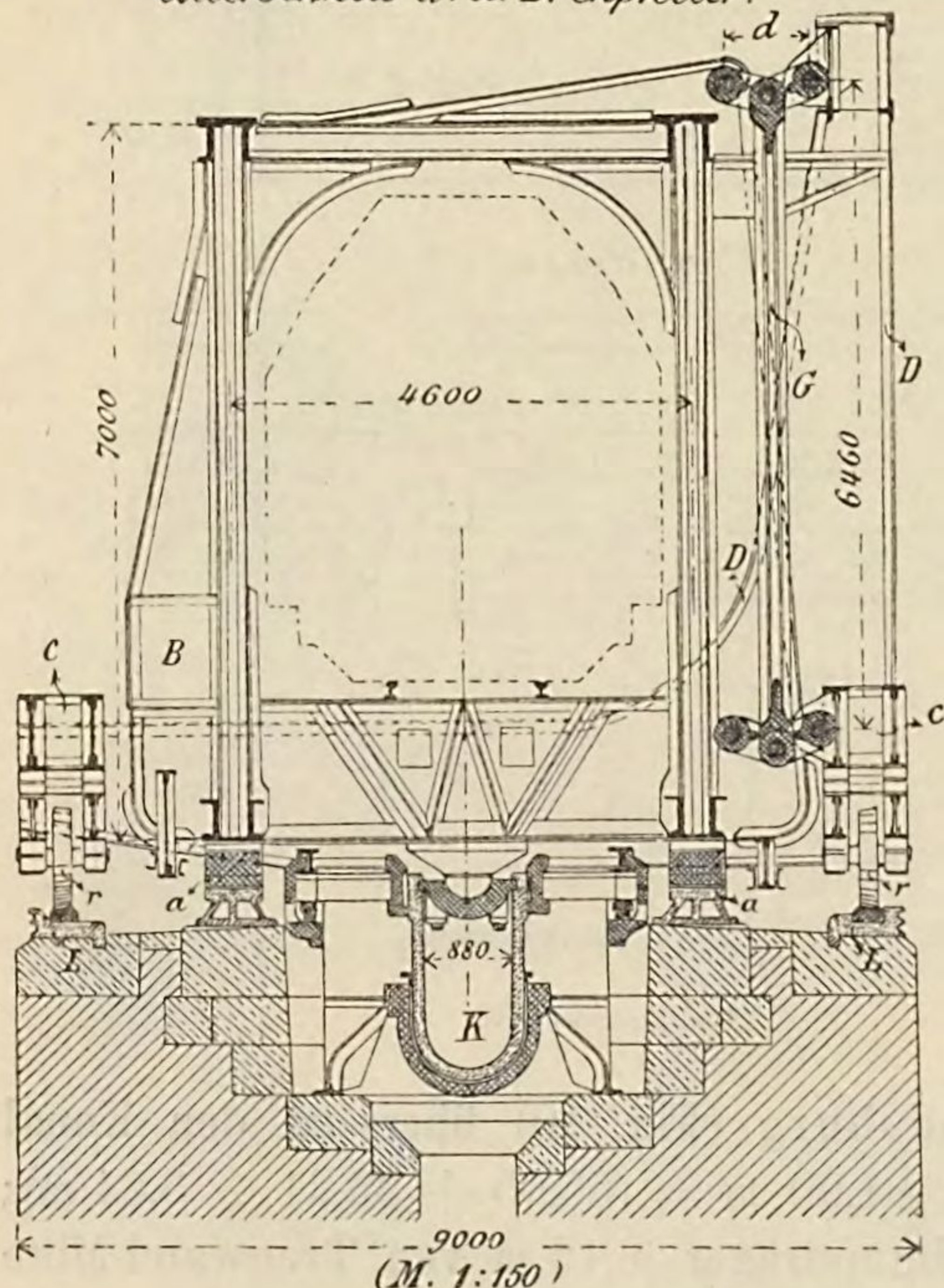
Da die Querverbindung keine ausreichende Aussteifung für die frei schwebende Brücke bietet, sind am Ende des kurzen Armes Laufrollen nächst jedem Hauptträger angeordnet. Der Königsstuhl ist $1,70 \text{ m}$ tief in den Pfeiler eingebaut, siehe Fig. 10. Die Einzelheiten der Bewegungsvorrichtung stimmen im wesentlichen mit jenen der Osterrönfelder Brücken überein.

γ) Die Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl (Fig. 11) übersetzt ebenfalls rechtwinkelig den Kanal. Da die Fahrbahn nach unten gelegt werden mußte, wurden die Hauptträger als Parallelfachwerkträger ausgeführt. Trägerlänge $95,94 \text{ m} = (56,62 + 35,00 + 4,32 \text{ m})$ bei $6,80 \text{ m}$ Höhe. Die tiefe Lage der Fahrbahn hatte besondere

Schwierigkeiten zur Folge: der Königsstuhl konnte nur geringe Höhe erhalten; die Drehcylinder mußten außerhalb der Hauptträger, parallel zur Brückenlängsaxe, gelagert werden und es war eine besondere Einrichtung, kurz Drehschemel genannt, erforderlich,

Fig. 11. Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl (Nord-Ostsee-Kanal).

Querschnitt ü. d. Drehpfeiler.



lich, um das seitliche Kippen der frei schwebenden Brücke zu verhindern und den Winddruck aufzunehmen.

Die Hauptträgerhöhe wurde so gewählt, daß auch in der oberen Gurtungsebene eine Windverspannung angebracht werden konnte. Die Fahrbahn besteht aus hölzernen Querschwellen mit Streichbalken neben jeder Schiene zur Sicherung gegen Entgleisung. Die Stöße der Längsträger sind frei schwebend und gestatten sowohl eine Drehung, als auch eine kleine Verschiebung. Zwischen den Obergurten der Längsträger liegt ein durchlaufender Horizontalverband, der in geeigneter Weise mit den Knotenpunkten der unteren Gurtung in Verbindung gebracht ist¹⁾, um auch die Bremskräfte der Brücke wirksam aufnehmen zu können.

Infolge des oben erwähnten Drehschemels ist die Brücke auf der Kolbensäule mit einem Kugellager gelagert und, wie bei der Straßenbrücke, am Ende des kurzen Armes durch Laufrollen unter jedem Hauptträger unter-

stützt. Neben den Laufrollen sind (auch bei den anderen Brücken) Sicherheitsrollen angebracht.

Der bereits erwähnte Drehschemel (Fig. 11) besteht aus zwei rechtwinkelig nach aufwärts gebogenen Hauptträgern *D*; sie sind bei *c* durch kastenförmige Träger verbunden, welche letztere mittels einer drehbaren Achse auf einem an einem Räderpaar gestützten Balancier ruhen. Oben sind die beiden Hauptträger durch einen nach drei Seiten geschlossenen Kasten verbunden. Die Lage dieser beiden Hauptträger des Drehschemels zum eisernen Überbau ist durch 3 Mitnehmer so festgesetzt, daß die mittlere Lotebene des ganzen Drehschemels mit der mittleren Querschnittsebene durch die Auflagerlotrechte des Brückenunterbaues zusammenfällt. Diese Mitnehmer gestatten eine Veränderung der Höhenlage der Brücke gegen den Drehschemel, sodaß sie einem Anheben der Brücke nicht hinderlich sind. Die zwischen den Hauptträgern der Drehschemel liegenden Brückenhauptträger gestatten nicht die Anordnung eines durchlaufenden Schrägenverbandes; es sind entsprechend abgesteifte Rahmen hierfür konstruiert, in deren wagrechtem Teil noch Eckverbindungen sind, die gleichzeitig dazu dienen, als Ballastkästen *B* (Fig. 11) zu wirken, da wegen der unsymmetrischen Form der Drehschemel eine Ausgleichung der leichteren Seite erforderlich ist. Der Drehschemel wirkt bis zu 78 kg/qm Winddruck bloß durch sein Gewicht; wird letzterer überschritten, so treten 2 Sicherheitshaken in Thätigkeit, die unter den vorstehenden Rand des Königsstuhles

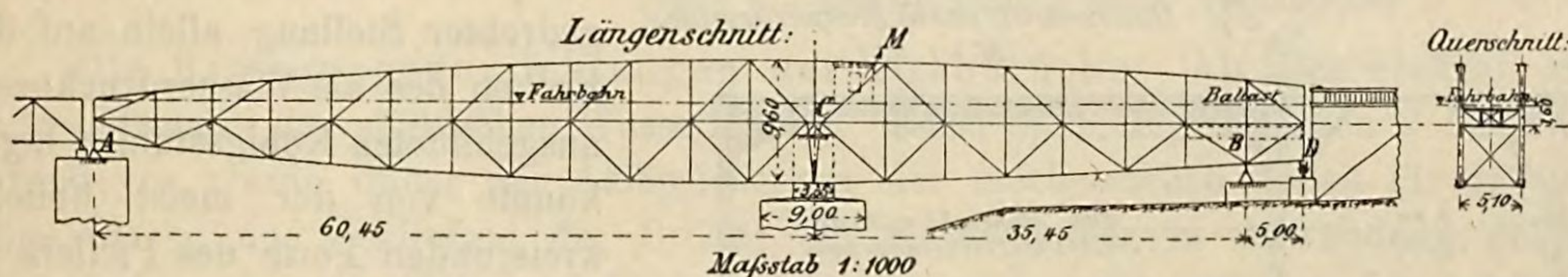
¹⁾ Zeitschr. f. Bauw. 1896, Taf. 16, 17, Fig. 14, 15.

greifen. Die Verbindung des Drehschemels mit der Brücke erfolgt durch ein System G von Stangen, die durch Gelenke miteinander verbunden sind. Macht man d (siehe Fig. 11, rechts oben) im Verhältnis zur lotrechten Bewegung nur genügend groß, so ist die unvermeidliche wagrechte Bewegung auf das praktisch zulässige Kleinstmaß gebracht und kann von dem Untergurt aufgenommen werden.

Die übrigen Anordnungen, wie: Windschirm am kurzen Arm, Puffer, Pendelschlitten und Vorrichtungen zum Heben und Drehen gleichen den bei den Osterrönfelder Brücken getroffenen.

Fig. 12.

Entwurf der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg für die Osterrönfelder Brücken.



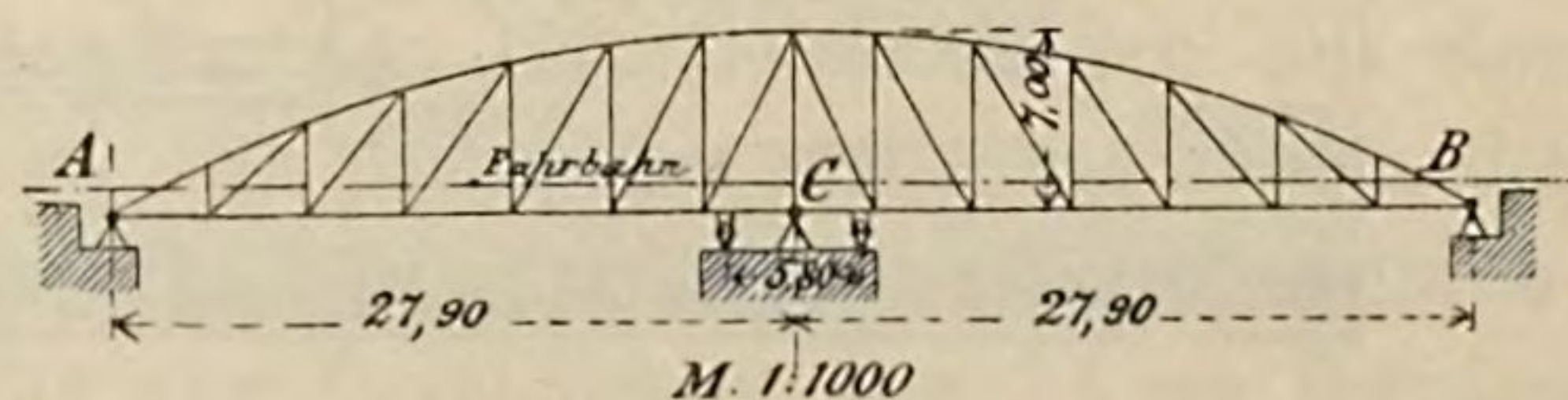
δ) Einem Entwürfe der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg für die Osterrönfelder Brücken (Fig. 12) liegt das Bestreben zu Grunde, die elastische Einbiegung, sowie die Verdrehungen durch Windwirkungen (Torsionsbeanspruchungen) thunlichst klein zu erhalten; deshalb wurde die große Höhe über Pfeiler = 9,6 m ($\frac{9,6}{100,6} = \frac{1}{9,54}$) gewählt und die Hauptwindverspannung nahezu in die Schweraxe der Hauptträger gelegt, sodass die Hauptwindverspannungsebene durch das Druckmittel der gesamten Windangriffsfläche geht. Gleichzeitig ergibt sich für die gewählte Anordnung eine kleine Anzahl von Knotenpunkten, ohne dass man dabei zu große Knicklängen für die gedrückten Glieder erhält.

ε) Außer diesen 4 Kanalbrücken war eine zweigeleisige Eisenbahnbrücke über die Obereider bei Rendsburg (Fig. 13) erforderlich; diese gleicharmige, 55,80 m lange Brücke übersetzt die Obereider unter einem Winkel von 84° ; trotz der schiefen Pfeilerstellung konnte der eiserne Überbau rechtwinkelig angeordnet werden. Der Drehpfeiler steht am Rand der Fahrrinne des neuen Durchstiches, für den sich eine nutzbare Lichtweite von 21,87 m ergibt. Das Gewicht der ausgedrehten Brücke, 246 t, ruht nur auf dem Königsstuhl C; 4 Laufrollen, in je 2,90 m Entfernung von letzterem angebracht, sichern die Brücke gegen Kippen durch seitliche Kräfte. In eingedrehter Stellung ist die Brücke an den Enden A und B aufgelagert und verriegelt, ähnlich wie die Ludwigshafener Brücke (Fig. 22); ferner kommen in Brückenmitte außer dem Königsstuhl 2 feste Lager mit flachcylindrischer Oberfläche, je eines unter einem Hauptträger gelagert, zur Wirksamkeit.

Auch bei dem eisernen Überbau dieser Brücke wurde die Verwendung schlaffer Glieder grundsätzlich vermieden; entworfen und ausgeführt wurde sie von der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg.

Fig. 13.

Eisenbahndrehbrücke über die Obereider bei Rendsburg (Nord-Ostsee-Kanal).



b. Die Baakenbrücke über den Magdeburger Hafen in Hamburg

(Fig. 14 bis 17), [Litt. 25]

besteht aus 2 festen und einer gleicharmigen Drehöffnung von 53,5 m und führt ein Bahngleise, eine 6 m breite Fahrbahn und einen 2,5 m breiten Fußweg unter einem Winkel von $59^{\circ} 8'$ über den Hafen; die nutzbare Lichtweite jeder Öffnung der Dreh-

Fig. 14, 15 u. 16.

Baakenbrücke über den Magdeburger Hafen in Hamburg.

Fig. 14.

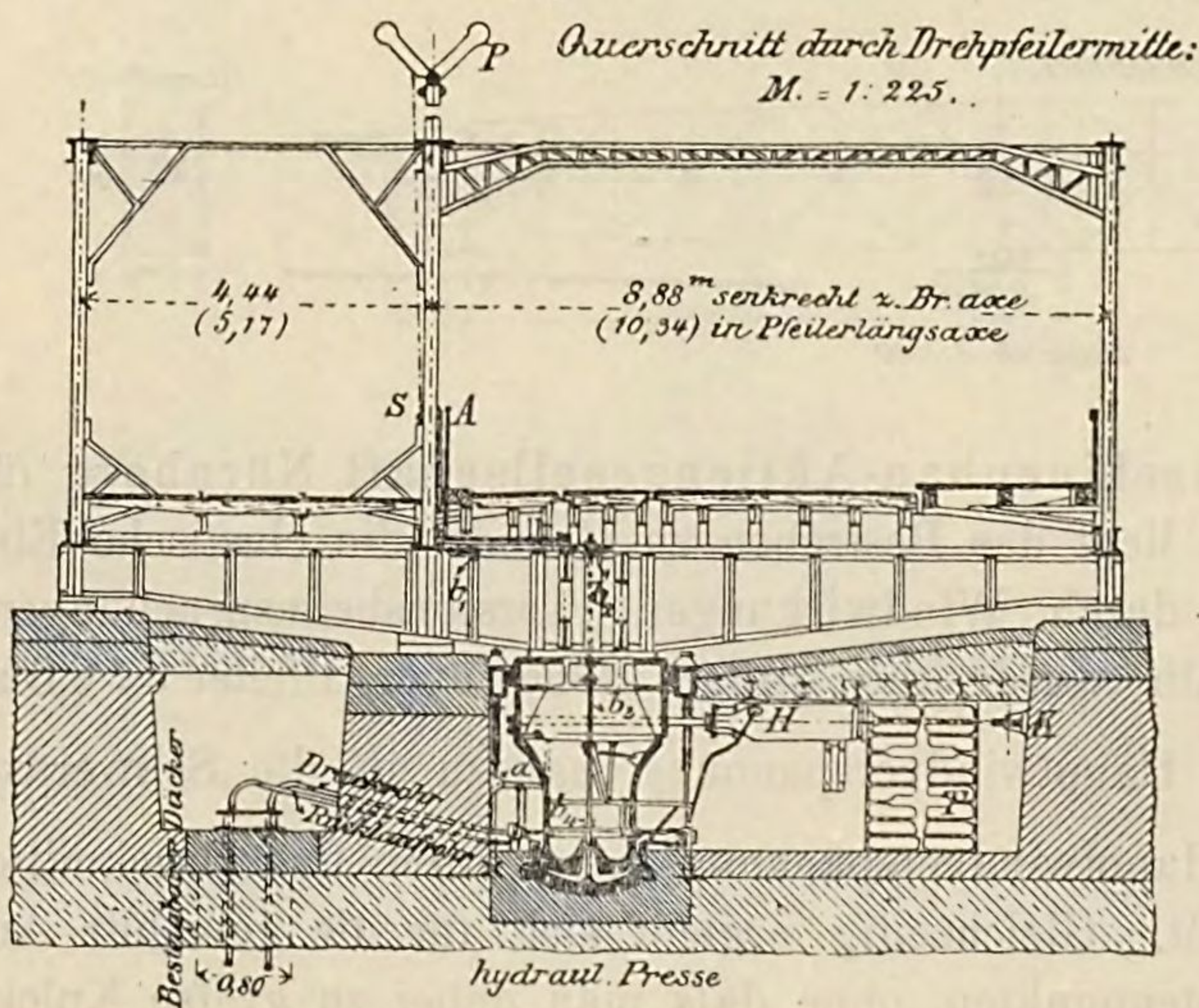


Fig. 15.

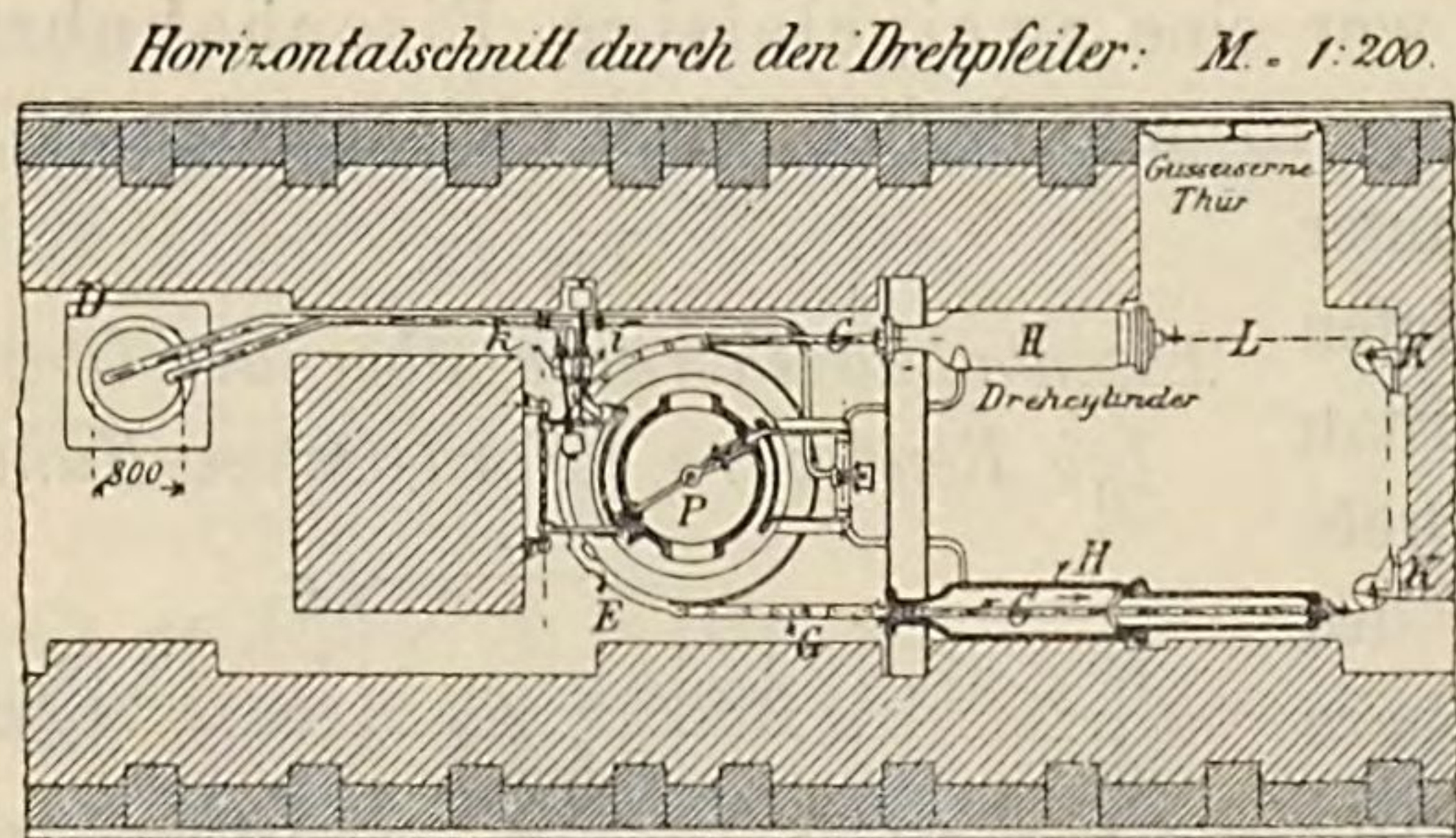
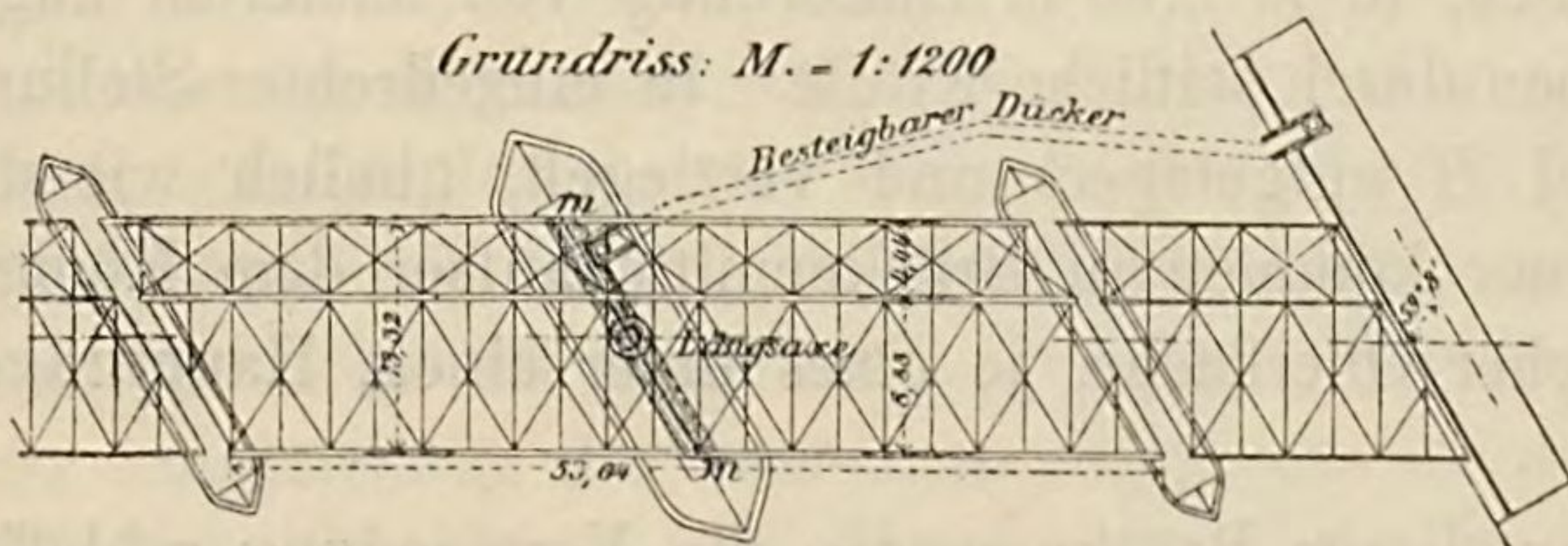


Fig. 16.



für die Straassenbahn zwei Reihen Lastwagen von 10 t Achsdruck und 3 m Achsstand, für den Fußweg 400 kg/qm der Berechnung zu Grunde gelegt. Bei der Berechnung der eingedrehten Brücke wurde die Veränderlichkeit des Trägheitsmomentes der Haupt-

brücke beträgt 21,3 m. Der dritte, mittlere Träger wurde eingeschaltet, um bei der grossen Gesamtbreite von 13,5 m an Querträgergewicht zu sparen. Da die Brücke in ausgedrehter Stellung allein auf dem Kolben des als Wasserdruckpresse ausgebildeten Königsstuhles lagert, konnte von der meist üblichen kreisrunden Form des Pfeilers abgesehen und derselbe länglich, wie ein gewöhnlicher Strompfeiler (Fig. 16) ausgebildet werden, wodurch eine zweckentsprechende Durchleitung der Strömung erzielt wird.

Der Drehpfeiler hat daher eine Länge von 28 m bei 6,4 m Breite, und ruht auf 96 je 35 cm starken Grundpfählen, welche unter Wasser von Tauchern in gleicher Höhe abgeschnitten wurden.

Der eiserne Überbau wurde ganz aus Flusseisen hergestellt und ist die erste Brücke Deutschlands aus diesem Material, welche auch von Bahnzügen befahren wird. Nur die Niete wurden aus Schweisseisen hergestellt.

Die Hauptträger der Drehbrücken sind Halbparabelträger, 53,04 m lang, 5,75 m im Scheitel und 2 m an den Enden hoch mit schlaff konstruierten Schrägstäben und trogförmigen Gurtungen. Als veränderliche Lasten sind für das Geleis 3 Lastzuglokomotiven mit Tender von 14 bzw. 9 t Achsdruck,

träger nicht berücksichtigt. Vom Eigengewicht trifft auf den mittleren Träger 3,25, auf die beiden äußeren 2,50 und 1,35 t/m Länge. Zur Querschnittsabmessung wurde die Weyrauch-Launhardt'sche Formel benutzt, jedoch statt des für Schweifseisen üblichen Grundwertes von 700 kg/qcm wegen der Verwendung von Flußeisen 900 kg/qcm gesetzt.

Die Eisengewichte der Drehbrücke ergeben sich wie folgt:

Die 3 Hauptträger	107,94 t	Die Hauptträger <i>m</i> (Fig. 16):	
Die Querträger und Eckverspannungen	68,78 „	Träger	36,63 t
Die Fahrbahnträger	51,89 „	Niete und Bolzen	1,10 „
Windverstrebung und Geländer	14,14 „	Lager	5,54 „
Niete und Bolzen	6,80 „		43,27 t
Lager	8,50 „	Daher Gesamtgewicht des Überbaues	
	258,04 t	der Drehbrücke (ohne Mechanismus)	301,31 t

Die Bewegungsvorrichtungen der Drehbrücke. Als Betriebskraft dient das Druckwasser der städtischen Wasserleitung, dessen Spannung zwischen 2 bis 4 Atm. wechselt; es wurde daher zur Speicherung der mechanischen Arbeit für das zweimalige Öffnen und Schließen der Brücke ein Kraftsammler in Anwendung gebracht und befinden sich die Hub- und Drehvorrichtungen in einem auf dem Landpfeiler errichteten Maschinengebäude (Fig. 17), sowie im Hohlraume des Drehpfeilers (Fig. 14 und 15). Der nutzbare Arbeitsdruck unter der Hebepresse in Brückenmitte beträgt 29 Atm.; das von letzterer zu hebende Gewicht setzt sich zusammen aus dem eisernen Überbau = 258 t, der hölzernen Fahrbahn = 98 t, dem Hauptquerträger = 43,3 t und dem Kolben der Hebepresse einschließlich verschiedener Steuervorrichtungen = 20,7 t; insgesamt 420 t; die hierfür auszuübende Kraft setzt sich zusammen aus der Kraft zur Hebung der eben gefundenen 420 t, der Kraft zur Überwindung der Stopfbüchsenreibung, veranschlagt zu 11 t, und dem zur Überwindung der aus einem Winddruck von 100 kg/qm hervorgerufenen Reibungswiderstand im Betrage von 16,4 t. Da die Brücke um 15 cm anzuheben ist, findet sich, bei reichlicher Bemessung des Kolbendurchmessers mit 143 cm, zum einmaligen Hub eine Druckwassermenge von 240 l. Das einmalige Öffnen und Schließen soll in 3 Minuten ausgeführt werden; hiervon sind erforderlich 15 Sekunden zum Anheben, 50 zum Ausschwenken, 50 zum Einschwenken, 15 zum Absenken und 50 für die übrigen Vorrichtungen. Die Kraft zur Beschleunigung der zu bewegenden Massen beträgt 1 t, die zur Überwindung der gesamten Kolbenreibungswiderstände 11,3 t und die der Stopfbüchsenreibung 11 t, und demnach das Gesamt-Drehmoment 31,37 tm. Die Gelenkgliederkette *G* (Fig. 15), deren Enden mit den Kolbenstangen zweier Drehcylinder *H* (Fig. 14 u. 15) verbunden sind, von denen der eine die Brücke öffnet, der andere sie schließt, erhält bei einem Kettenscheibendurchmesser von 248 cm einen Zug von 25,3 t, wofür ein Durchmesser von 34 cm für den Drehcylinder genommen wurde, zu dessen einmaliger Füllung mit Druckwasser 118 l, oder, da nur auf $\frac{4}{5}$ des ganzen Hubes Druckwasser zugeführt wird, etwa 95 l nötig sind.

Bewegungsvorrichtungen. Die Hebepresse ist aus Gußeisen ausgeführt und der Kolben gegen Rostbildung mit einem Metallmantel versehen. Die Dichtung zwischen Kolben und Cylinder ist durch 3 Hanfflechten mit Gummiseele hergestellt. Der Hub der Drehcylinder *H* beträgt ungefähr 1,4 m und sind letztere, um ein Schlaffwerden der Gelenkkette *G* unter allen Umständen hintanzuhalten, durch die Kette *L* verbunden.

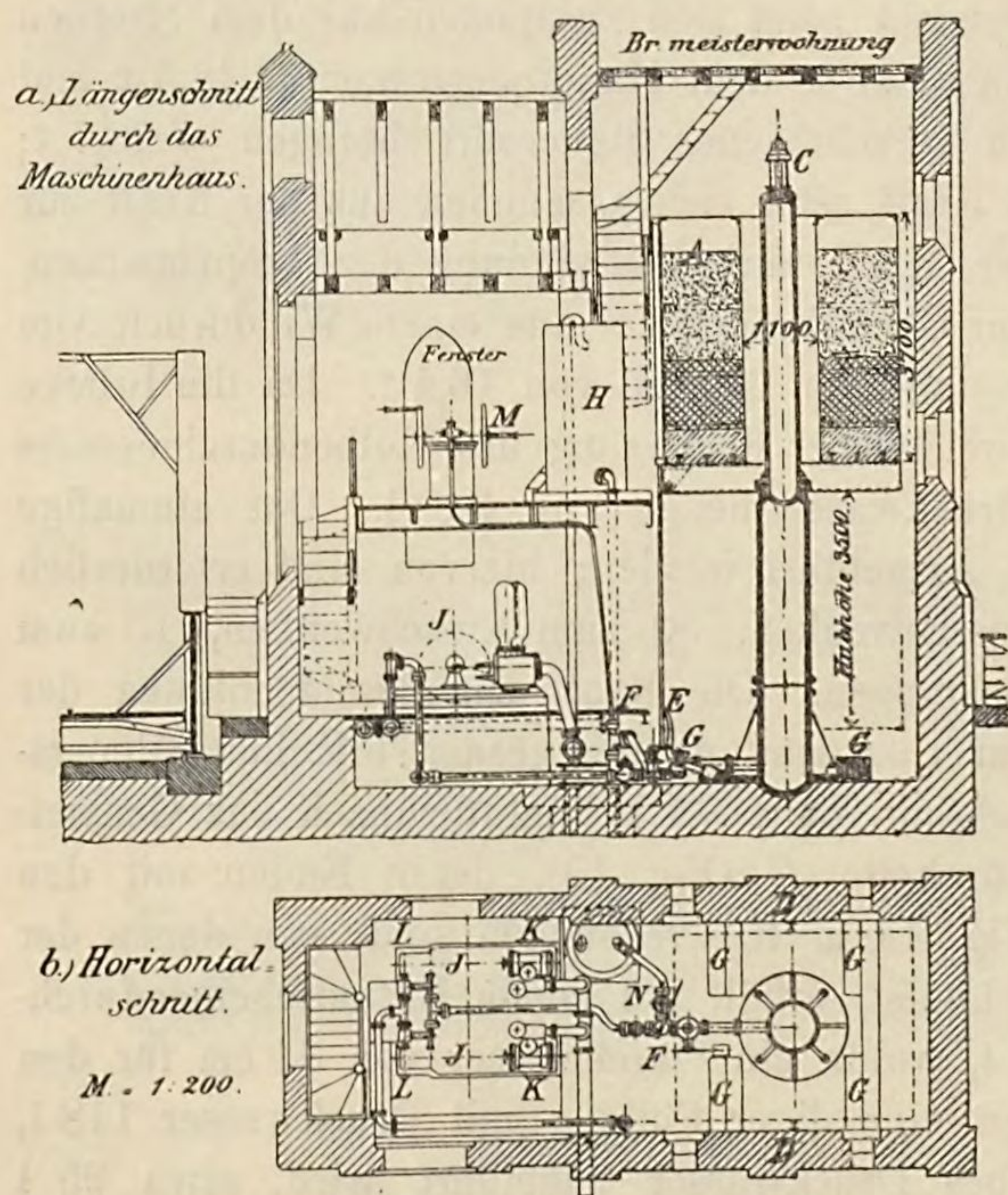
Die Steuervorrichtung ist einfach: Die Anhebung der Brücke geschieht durch Umlagen eines Hebels, der die Steuerung der Hebepresse mittels Ventilen bewirkt, die durch

Gegengewicht und Hebelübersetzung selbstthätig geschlossen werden; mit diesem Hebel ist gleichzeitig eine Riegelvorrichtung verbunden, die die Riegelung der Brücke an den Enden bethätigt. Die Vorrichtung ist so angeordnet, daß einerseits die Einriegelung geschieht, bevor das Druckwasser unter die Hebepresse tritt, andererseits der Wiederverschluß erfolgt sein muß, bevor das den Verkehr freigebende Signal erscheint. Die Steuerung der Drehvorrichtung erfolgt unabhängig vom Heben und Senken der Brücke; die Drehbewegung der Brücke läßt sich nur ausführen, wenn sie auf die vorschriftsmäßige Höhe angehoben ist.

Da der Hohlraum des Pfeilers unter Hochwasserhöhe liegt, aber immer trocken gehalten und zeitweilig betreten werden muß, ist er durch die 2,7 t schwere eiserne Thür *T* (Fig. 14 u. 15) wasserdicht abgeschlossen; die durch eine Gummischnur bewirkte Dichtung hat sich vollkommen bewährt; die in Betracht kommende Wasserdruckhöhe kann 4 m erreichen.

Der zur Aufspeicherung der Betriebskraft für ein zweimaliges Öffnen und Schließen ausgeführte Kraftsammler *C* (Fig. 17) faßt 860 l Druckwasser; der nutzbare Hub ist auf 3,5 m bei 56 cm Durchmesser berechnet; das Belastungsgewicht von 76,4 t ist

Fig. 17. *Baakenbrücke über den Magdeburger Hafen in Hamburg.*



in dem eisernen Ballastkasten *A* untergebracht und besteht aus Eisenschrot und Sand. Drosselventile *E* und *F* begrenzen den Hub des Gewichtskastens in sicherer Weise und kann letzterer überdies auf den starken Hölzern *G* abgefangen und vom Kraftsammler getrennt werden. Das verbrauchte Wasser wird dem Sammelbehälter *H* und von diesem den Pumpmaschinen *J* zugeführt, sodaß ein geschlossener Kreislauf stattfindet.

Die Überführung der beiden Rohrleitungen vom Maschinengebäude zum Drehpfeiler geschieht in einem bestiegbaren, geschweißten, 10 mm starken Dükerrohr *D* von 80 cm Durchmesser (Fig. 14, 15 u. 16); dadurch kann die Rohrleitung stets unter Aufsicht gehalten und jede Undichtheit sofort behoben werden. Das Kraftwasser erhält 50% Glycerin als Zusatz und bleibt dann bei 20° C. Kälte noch

flüssig. Die Zwilling-Pumpenmaschine *L* (Fig. 17 *b*) liefert in 8 Minuten genügend Kraftwasser zum zweimaligen Öffnen und Schließen; das Wasser der städtischen Leitung wirkt unmittelbar auf die beiden Triebkolben *K* der Maschine, diese in Verbindung mit dem Differentialkolben *L* beziehen ihr Speisewasser aus dem Behälter *H* und drücken es gespannt in den Kraftsammler. Versagt die städtische Leitung, so können 4 Arbeiter mittels der Handzwillingspumpe *M* den Gewichtskasten *A* heben. Da das Leitungswasser nicht besonders rein, muß es durch eine Reinigungsvorrichtung fließen, bevor es in die Pumpenmaschine gelangt.

Die Gewichte der Drehvorrichtung sind:

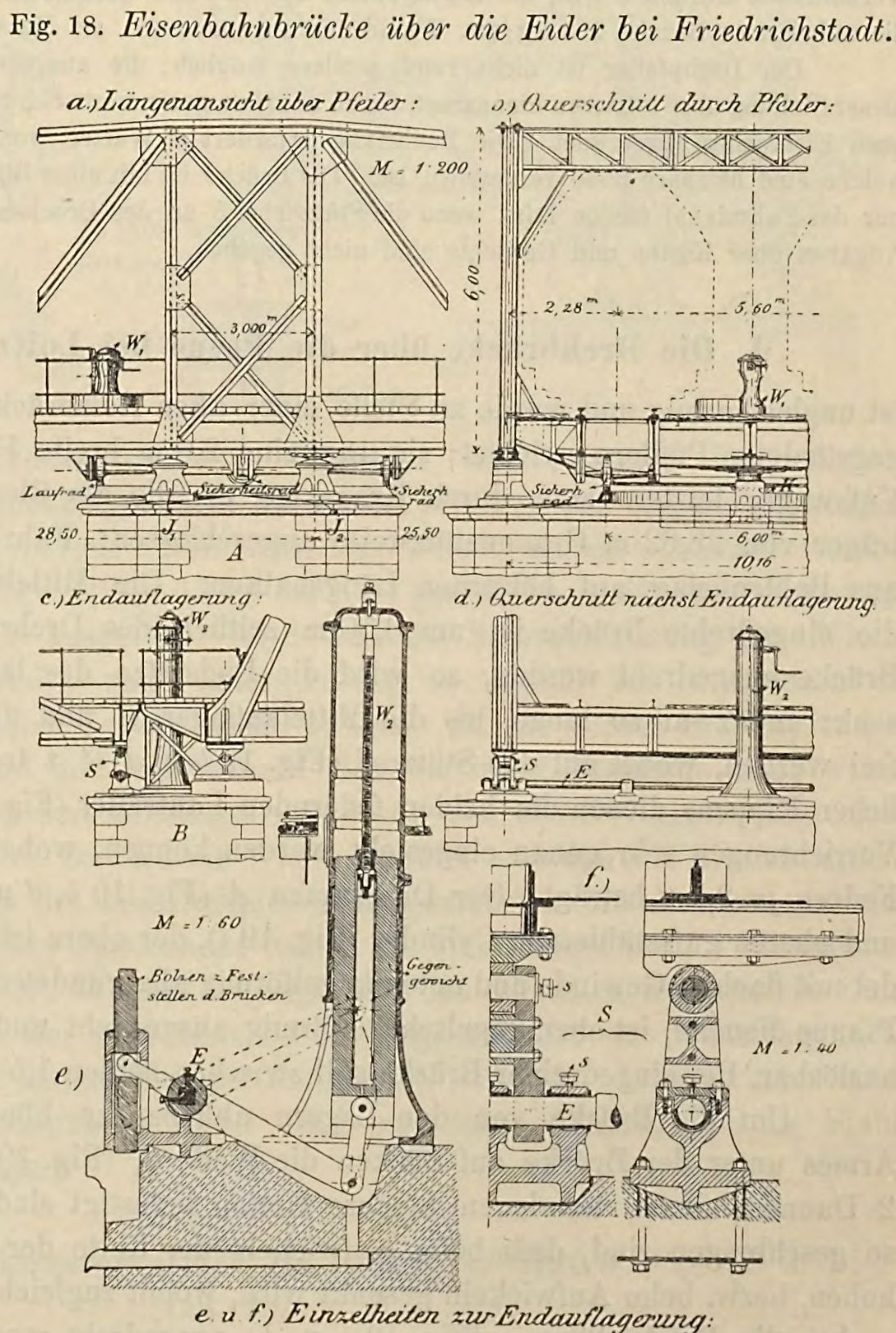
Hebepresse mit Steuervorrichtung	31,60 t
Drehcylinder mit Steuervorrichtung	11,38 „
Rahmenplatte mit Führungsrolle und Verankerung	10,92 „
Kraftsammler mit Gewichtskasten, ausschliesslich Ballast	22,08 „
Pumpenmaschine mit Zubehör	5,11 „
Handpumpe mit Zubehör	0,86 „
Rohrleitungen	3,16 „
Sammelbehälter	0,47 „
Wasserreinigungs-Vorrichtung	0,92 „
Riegel- und Puffer-Vorrichtung	2,07 „
Dükerrohr mit Zubehör	18,36 „
Zusammen	106,93 t

Die Brücke ist seit fast 8 Jahren in Betrieb und hat sich sehr gut bewährt; die erforderliche Zeit zu einem einmaligen Öffnen und Schliessen beträgt 2 Minuten 20 Sekunden. Die Kosten der Drehvorrichtung betragen 62000 M., die des Maschinengebäudes 15000 M. ohne Vorarbeiten, Entwurf und Bauleitung; die Kosten des eiserne Überbaues, Fundierung u. s. w. sind nur für die ganze Brücke, einschliesslich der beiden festen Öffnungsfelder, angegeben.²⁾

Der eiserne Überbau wurde von der Aktiengesellschaft Harkort in Duisburg, die Drehvorrichtung von Hoppe in Berlin geliefert; die Bearbeitung des Entwurfes erfolgte durch Weyrich in Hamburg.

c. Eisenbahnbrücke über die Eider bei Friedrichstadt (Fig. 18), [Litt. 24].

In diese lange Bahnbrücke ist ein beweglicher Teil von 54 m Gesamtlänge in Form einer gleicharmigen zweigleisigen Drehbrücke eingeschaltet; als Parabelträger mit Zugbandsystem und 6 m Höhe über Drehpfeiler ($\frac{6}{54} = \frac{1}{9}$) nach dem Schwedler'schen System ausgebildet, kann sie in 2 Minuten von 2 Arbeitern um 90° gedreht werden. In eingedrehter Stellung bil-



²⁾ Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1895, S. 326.

det sie einen durchgehenden Träger mit den ungleichen Spannweiten 28,5 und 25,5 m (Fig. 18 *a*); da sie zum Durchdrehen in beliebiger Richtung befähigt sein soll, sind sämtliche auf dem Pfeiler angebrachte Auflager J_1 und J_2 symmetrisch zum Pfeiler-mittel angeordnet und infolge dessen die Endauflager in einer von der üblichen Art abweichenden Weise ausgebildet (Fig. 18 *c* bis *f*). Unter jedem Endquerträger liegt eine Welle E (Fig. 18 *d* bis *f*), an deren beiden Enden je ein 0,50 m langer Doppelhebel mit zwischenliegender Walze zur Unterstützung der Hauptträger befestigt ist. In der Mitte der Welle E befindet sich (in Fig. 18 *d* durch W_2 verdeckt) ein 1 m langer Hebel, der behufs Heben und Senken der Stütze S (Fig. 18 *c, d, f*) mit der Spindel W_2 in Verbindung steht; diese Stützen S haben bei geschlossener Brücke den vollen Auflagerdruck der Hauptträger aufzunehmen. Das 800 kg schwere Gegengewicht (Fig. 18 *e*) bezweckt, das Heben und Senken der Enden zu erleichtern, das mittels des Windebockes W_2 , während die Drehung der Brücke mittels des Windebockes W_1 (Fig. 18 *a* u. *b*) bethätigt wird.

Die statische Berechnung des Überbaues erfolgte nach der Formel $\sigma = 700 \left(1 + \frac{S_{\min}}{S_{\max}}\right)$; als Verkehrslast wurden 5 t/m, als Eigengewicht 1,6 t/m und Geleise, für die belastete 150 kg/qm und für die unbelastete Brücke 250 kg/qm Winddruck angenommen, als Material Schweißseisen verwendet.

Der Drehpfeiler ist nicht rund, sondern länglich; die ausgedrehte Brücke ist deshalb, da sie in dieser Stellung über letzteren hinausragt, durch aus Holz gezimmerte Schwimmkörper³⁾ gesichert; überdies sind noch Eisbrecher angeordnet. Die Bedienung erfordert 4 Wärter, von denen je 2 Dienst haben und für welche eine heizbare Bude vorgesehen ist. Die Brücke ist mit einer Signalvorrichtung ausgestattet, welche nur das Fahrsignal stellen läßt, wenn die Stützhebel S an den Brückenenden vollständig senkrecht stehen. Angaben über Kosten und Gewichte sind nicht gegeben.

d. Die Drehbrücke über die Peene bei Loitz (Fig. 19), [Litt. 14]

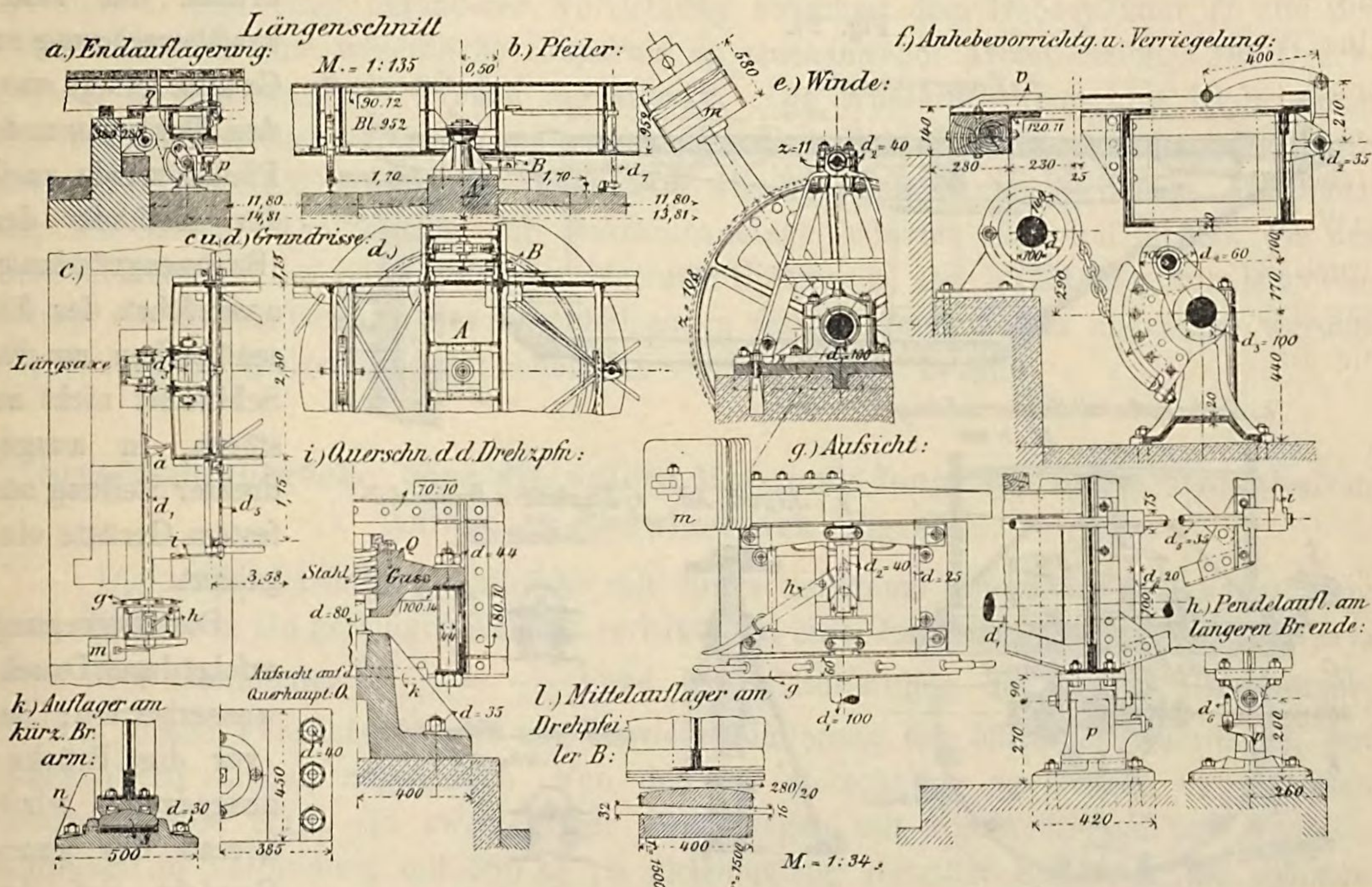
ist ungleicharmig und wurde an Stelle einer alten Holzbrücke auf massiven, auf Brunnen gegründeten Pfeilern errichtet; sie trägt eine 2,6 m breite Fahrbahn und 2 je 1 m breite Fußwege; letztere sind durch Kragarme an die als Blechträger ausgebildeten Hauptträger von 28,62 m Gesamtstützweite angeschlossen; Fahrbahn und Fußwege bestehen aus Bohlenbelag auf hölzernen Längsbalken. Die Mittelstütze B (Fig. 19 *b* u. *d*) für die eingedrehte Brücke ist um 0,50 m seitlich des Drehzapfens verschoben. Soll die Brücke ausgedreht werden, so wird die Endstütze des längeren Armes (Fig. 19 *a*) gesenkt und zwar so lange, bis die Mittelaullager B und das andere Endauflager druckfrei werden, wobei auf das Stützrad (Fig. 19 *b* u. *d*) 4 t treffen. Zur Verhütung des seitlichen Kippens dienen die beiden federnden Laufräder (Fig. 19 *d*), welche durch geeignete Vorrichtungen sehr genau eingestellt werden können, wobei der zulässige Druck auf die Federn je 2,5 t beträgt. Der Drehzapfen A (Fig. 19 *b, d* u. *i*) besteht aus einem unteren und oberen gußstählernen Cylinder (Fig. 19 *i*), der obere ist aus einer gußstählernen Spindel mit flachem Gewinde und unten kugelförmig abgerundetem Ende gebildet; der untere, als Pfanne dienend, ist oben kugelschalenförmig ausgedreht und mittels des Keiles k ebenfalls auslösbar. Bei eingedrehter Brücke soll zwischen beiden 1,5 mm Spielraum vorhanden sein.

Um die Brücke von den Lagern abheben zu können, ist am Ende des langen Armes unter der Brücke auf Böcken die Welle d_3 (Fig. 19 *c* u. *f*) gelagert, auf welcher 2 Daumen sitzen, an denen längere Ketten befestigt sind, die um 2 Kettenscheiben d_1 so geschlungen sind, daß beim Aufwickeln der Kette der Daumen mit der Rolle d_3 gehoben, bzw. beim Aufwickeln gesenkt wird, womit zugleich das Brückenende sinkt, sofern vorher die Pendelstütze p (Fig. 19 *a* u. *h*) ausgedreht wurde; die Kettenscheiben sitzen

³⁾ Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1890, S. 590 und Taf. 15, Fig. 14 u. 15.

auf der Welle d_1 und gleichfalls darauf ein Zahnrad mit auf diesem befestigtem Gegengewicht m (Fig. 19 c, e u. g); in das große Zahnrad greift ein Vorgelege mit Spill- und Sperrrad g (Fig. 19 g).

Fig. 19. Drehbrücke über die Peene bei Loitz.



Das Ausdrehen der Brücke erfolgt in folgender Weise: Durch Rechtsdrehen von g wird das längere Brückenende gehoben, die Pendel p heben sich ab und schwingen frei in den wagrechten Lagerbolzen. Nun wird die Winde gesperrt, hierauf werden die Pendel p durch den Hebel i (Fig. 19 h) um 90° gedreht und damit wird zwangsläufig der Riegel v (Fig. 19 h) ausgelöst. Wird nun die Sperrvorrichtung der Winde wieder gelöst und das Spillrad g nach links gedreht, so beginnt der Brückenarm zu sinken bei gleichzeitig steigendem Gegengewicht, so lange bis die beiden Stahlzapfen bei A zur Berührung gebracht sind und das Stützrad sich auf die Laufschiene setzt, wobei gleichzeitig die Brücke sich von den Mittellagern B , sowie von den Endlagern (Fig. 19 k) abhebt. Schwebt die Brücke frei, so wird die Winde gesperrt und nun die Brücke mittels der Welle d_1 (Fig. 19 b) längs des am Drehpfeiler festgemachten Zahnkranzes gedreht. Die ganze Arbeit eines Ein- oder Ausdrehens leistet ein Mann bequem in 3 Minuten.

Das Hebewerk ist so gebaut, daß das Gegengewicht den doppelten Weg wie die Dau- menrolle zurücklegt, wodurch bei unveränderlichem Gegengewicht stetes Gleichgewicht erreicht und beim Heben oder Senken nur die Reibungswiderstände zu überwinden sind.

Der Bewegungsmechanismus erfordert 1893 kg Schmiedeeisen, 533 kg Stahl, 3182 kg Guß und 37 kg Rotguß.

e. Drehbrücke mit Druckwasserbetrieb im Ruhrorter Hafen (Fig. 20 u. 21), [Litt. 75].

Um den Schiffen eine größere nutzbare Breite zu gewähren (18,2 m nutzbare Lichtweite), wurde eine ungleicharmige Brücke gewählt; Geländerholm und Hauptträger-

21 *a* u. *b* dargestellte Bremsvorrichtung angeordnet worden, deren Wirkungsweise aus den Figuren selbst ersichtlich ist und die sich gut bewährt hat.

Die Bewegung vermittelt der Kraftsammler *A* (Fig. 21 *c*), der, durch eine zweipferdige Gaskraftmaschine gespeist, Druckwasser von 35 Atm. liefert. Mittels des Gegen-cylinders *G* und einer besonderen Vorrichtung zwischen dem Hebecylinder *H* und der Hebekette wird eine wesentliche Ersparnis an mechanischer Arbeit erzielt. Die Druck-cylinder *C* betätigen das Drehen der Brücke. Die Wasserdruckmaschine ist in einem heizbaren, feuersicher überwölbten Raum aufgestellt. Das einmalige Anheben des Kraftsammlers erfordert 20 Minuten und genügt für 4maliges Öffnen und Schließen. Gewichtsangaben fehlen. Die Kosten der Maschinenanlage belaufen sich auf 21500, die des Maschinenhauses auf 6400, die des eisernen Überbaues auf 35200 M.; von letzterem Betrag müßte das Gewicht des anschließenden festen Öffnungsfeldes abgezogen werden. Für die Tonne Walzeisen der Drehbrücke wurden 335 M. bezahlt.

f. Straßendrehbrücke über die untere Hafenmündung der neuen Rheinhafen-Anlage zu Ludwigshafen (Fig. 22).

Die ungleicharmige Drehbrücke mit einem polygonal geformten Drehpfeiler, dem diese Gliederung ein gefälliges Äußere verleiht, hat eine Gesamtlänge von 51 m, bei 7,5 m Höhe über Drehpfeiler ($\frac{7,5}{51,0} = \frac{1}{6,8}$) und 5,4 m Entfernung der beiden Hauptträger; die 5 m breite Fahrbahn wurde zur Gewichtsminderung aus hölzernen Querdielen, auf Längshölzern ruhend, angeordnet. Von den der Berechnung zu Grunde zu legenden Belastungsarten ergab ein zweiachsiger 10 t-Wagen mit 4 m Achsstand und 8 m Gesamtlänge in Verbindung mit 360 kg/qm gleichmäßig verteilter Belastung die größten Stabspannungskräfte; das Eigengewicht des langen Armes beträgt 1,25, das des kurzen 1,33 t/m. Die mittlere Stütze ist um 15 mm überhöht, wobei jedoch auch im ungünstigsten Fall an den beiden Endauflagern genügend große positive Auflagerdrücke vorhanden sind. Die Querschnittsberechnung erfolgte nach der Gerber'schen Schwingungsfestigkeit für die eingedrehte Brücke; für die ausgedrehte Brücke wurde als größte Spannung 800 kg/cm² zugelassen und von beiden so gefundenen Eisenzugflächen die größeren der Querschnittsbestimmung zu Grunde gelegt. Die Berechnung der Hauptträger erfolgte für die eingedrehte Brücke mit Berücksichtigung der vorhandenen Stabquerschnitte nach dem Verfahren L. Freytags.⁴⁾

Vorgang beim Aus- und Eindrehen der Brücke: In eingedrehter Stellung lagert der Hauptträger bei (0), (8) und (13) (Fig. 22 *a*, *d*, *c* und *f*) auf und übt daselbst die Auflagerdrücke 7,6, 164,5 und 25,4 t aus. Die Auflagerung bei (8) wird durch flach gewölbte, sich berührende Cylinder unterhalb des Hauptträgers bewirkt. Soll nun die Brücke ausgedreht werden, so wird durch ein Gestänge, in Verbindung mit einem Triebwerk nächst dem Pfeiler auf der Brücke, der zwischen dem doppelwandigen Endquerträger befestigte Kniehebel bei *K* (Fig. 22 *c* u. *d*) (der bei eingedrehter Stellung die in Fig. 22 *d* dargestellte, nahezu senkrechte Stellung einnimmt) und gleichzeitig das Auflagerstück *b* (Fig. 22 *c*, unten), welches in der mit dem Hauptträger fest verbundenen Platte *d* wagrecht in der Nut verschieblich ist, zurückgezogen, wodurch sich der kurze Arm, der mit 15,3 t Ballast-Beton in den Endfächern desselben beschwert ist, senkt. Ist die Senkung soweit fortgeschritten, daß das Auflager (0) druckfrei geworden, so erhöht sich der

⁴⁾ L. Freytag, Vereinfachung in der statischen Bestimmung elastischer Balkenträger. Leipzig 1892.

Auflagerdruck bei (8) auf 181,8 t, während bei (13) nur mehr 15,7 t Druck vorhanden sind, wobei bei der getroffenen Höhenanordnung der einzelnen Auflager der Königsstuhl bei *K* (Fig. 22 *d*) noch druckfrei geblieben. Durch weiteres Senken des kurzen Armes wird auch Auflager (8) druckfrei und der Königsstuhl erhält nun von beiden Hauptträgern zusammen 393,2 t, wobei ein Auflager (13) nur mehr 0,9 t Druck erfährt. Durch fortgesetztes Senken wird ferner auch Auflager (13) druckfrei; dafür kommt das Laufrad bei (9) zum Tragen und erhält schliesslich 8,3 t Belastung, wobei der Königsstuhl nur mehr 378,4 t zu tragen hat. Die Brücke kann nun ausgedreht werden, wobei ausser dem bereits erwähnten Laufrad bei (8) noch ein weiteres, symmetrisch hierzu in Bezug auf den Königsstuhl gelegen, vorhanden ist, um Seitenschwankungen der Brücke wirksam aufnehmen zu können.

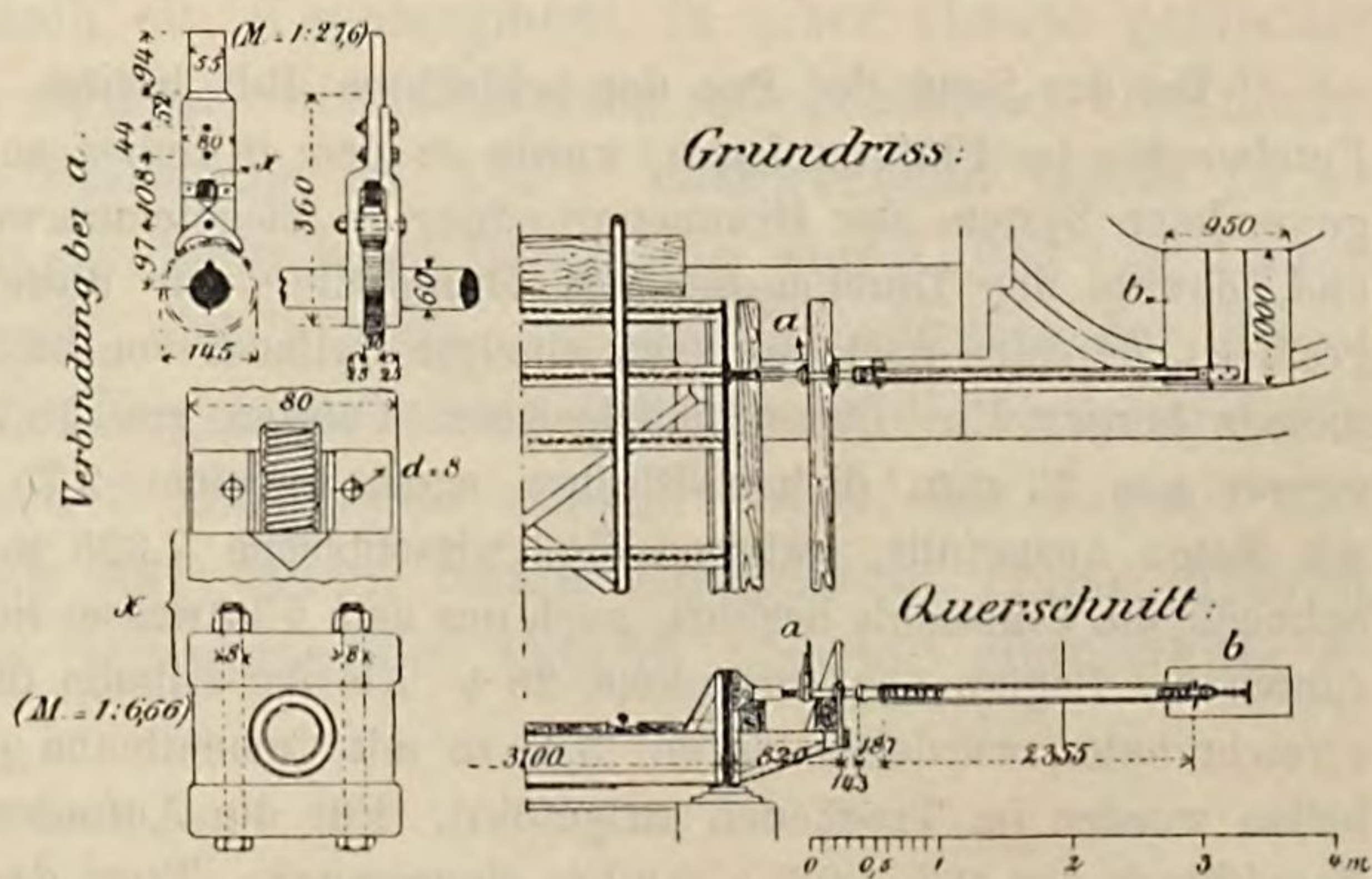
Verriegelung der Brücke. Dieselbe erfolgt vorübergehend durch die in der Brückenlängsaxe befindliche Klinke am Ende des kurzen Armes, dauernd durch das feste Auflager am Ende des langen Armes in folgender Weise: Bei festgestellter Brücke nimmt die Klinke die in Fig. 22 *b* dargestellte Lage ein. Soll nun die Brücke ausgedreht werden, so muß der Endquerträger (13) gesenkt werden; die Klinke bietet, da sie mit dem eisernen Überbau mittels einer wagrechten Drehaxe verbunden ist und ausserdem durch das Gegengewicht beständig gegen die Gufsplatte *R* (Fig. 22 *b* u. *c*) gedrückt wird, wie aus Fig. 22 *b* ersichtlich ist, dem Ausdrehen kein Hindernis. Wird die Brücke wieder eingedreht, so schleift die Klinke an der lotrechten Fläche der Gufsplatte *R*, bis sie, sobald die Brücke die Endstellung erreicht hat, im mittleren Ausschnitt der Platte *R* einschnappt und nun die Brücke festhält; der hierbei auftretende Stofs wird durch die federnde Pufferanordnung *B* unschädlich gemacht. Beim nun erfolgenden Anheben des kurzen Armes senkt sich gleichzeitig das Ende des langen Armes, bis es die in Fig. 22 *f* gezeigte Stellung erreicht hat, wodurch die Brücke genügend gegen die Wirkung seitlicher Kräfte verriegelt erscheint. Beim Absenken des kurzen Armes wird aber die Klinke aus dem Einschnitt gehoben, kommt wieder in die Ausgangsstellung (Fig. 22 *b*), und bietet nun einer Drehung der Brücke kein Hindernis. Die Drehung erfolgt gleichfalls durch ein Getriebe nächst dem Pfeilermittel in Verbindung mit Drahtseilen, welche sich kreuzend um einen auf dem Pfeiler fest verankerten gusseisernen Rillenkranz von 5 m Durchmesser und um eine an dem Überbau befestigte Rillenscheibe von 0,6 m Durchmesser schlingen. Die Bedienung der Brücke geschieht vollständig von der Brückenmitte aus.

Entwurf und Ausführung des eisernen Überbaues, einschliesslich der ganzen Bewegungsvorrichtungen erfolgte durch die Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg.

g. Eisenbahndrehbrücke bei Camp-Carnin über den Peene-Strom (Fig. 23), [Litt. 31].

Das Drehfeld der eingeleisigen, bereits 1874—1876 erbauten Bahnbrücke, bestehend aus 2 vollwandigen Blechträgern von 43,9 m Länge und 1,95 m in der Mitte und 0,86 m Höhe über den Endauflagern bei

Fig. 23. Eisenbahndrehbrücke bei Camp-Carnin über die Peene.



3,1 m Entfernung derselben, zeigte bei Inbetriebnahme der Bahn den Übelstand, daß es nur mittels Flaschenzügen und Hebebäumen in die richtige Lage gezwängt werden konnte, da sich die beiden Hauptträger infolge der verschiedenen Bestrahlung durch die Sonne ungleich, und zwar vor- und nachmittags im entgegengesetzten Sinne, seitlich ausbogen, sodaß, wenn an einem Brückenende Schienenkopf gegen Schienenkopf stand, am anderen eine Verschiebung derselben bis zu 25 mm beobachtet wurde. Dieser Unzukömmlichkeit wurde im Jahre 1891 durch die in Fig. 23 dargestellte Anordnung, welche in 3 Minuten eine richtige Einstellung der Geleise gestattet, in erfolgreicher Weise abgeholfen. Das eine Brückenende ist mit dem in dem Turm eingemauerten Quader *b* durch die wagrechte Strebe derart verbunden, daß durch die Knarrwelle *a* das Brückenende in die richtige Stelle gezwängt werden kann.

2. In England und englischen Kolonien.

a. Die Hawarden-Drehbrücke über den Dee-Fluß [Litt. 31]

hat 42,70 m Weite, die größte lichte Durchflußweite in England. Der Wasserspiegelunterschied bei Ebbe und Flut beträgt 1,2 m. Aufser der doppelgleisigen Bahn trägt sie mittels Kragarmen einseitig einen 1,22 m breiten Fußweg (Fig. 24).

Fig. 24. Hawarden-Drehbrücke über den Dee-Fluß.

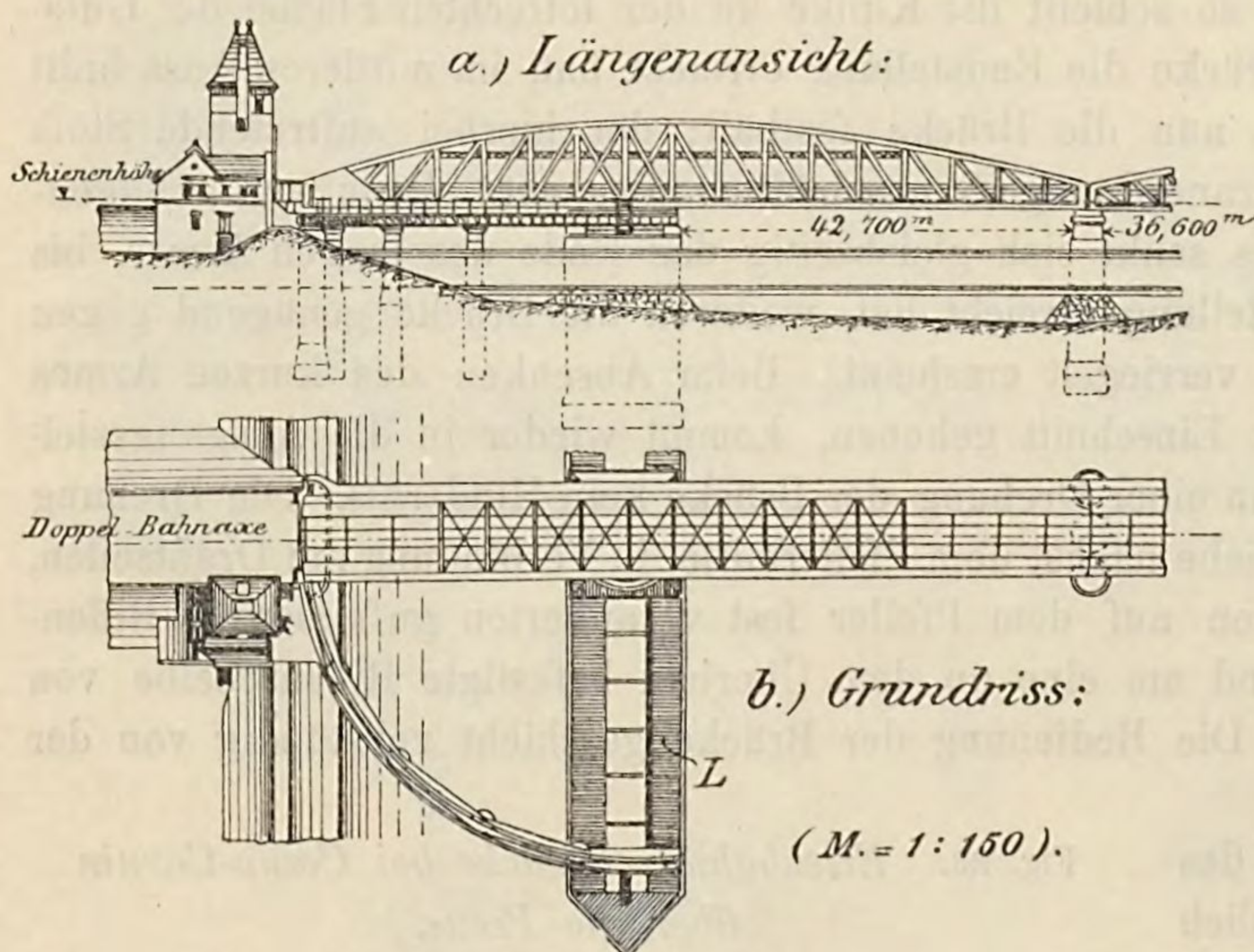
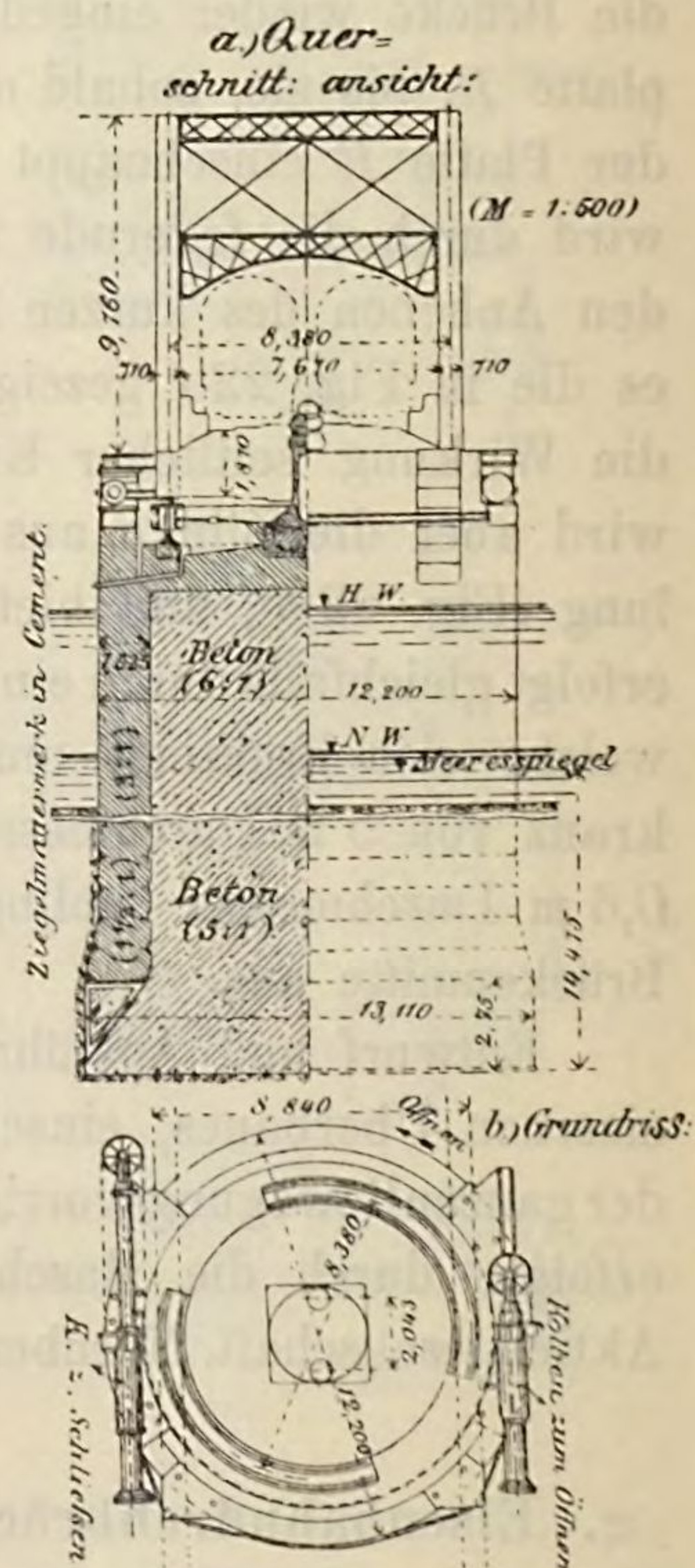


Fig. 25. Drehpfeiler.



Da der Sand des Dee den schlechten Ruf besitzt, sich auf die Fundamente im Fluß zu legen, wurde zu dem in Indien so vielfach angewendeten System der Brunnengründung in Ziegelmauerwerk gegriffen und, obwohl der Durchmesser des Drehpfeilers für diese Methode zu groß ist, derselbe doch aus einem einzigen Cylinder von 12,20 m Durchmesser hergestellt. Der schmiedeeiserne Caisson von 13,11 m Durchmesser aus 12 mm dicken Blechen endet in einer 2,75 m hohen, keilförmigen Schneide (Fig. 25 a), mit Beton ausgefüllt, während die Caissonbleche 7,325 m hoch gemacht wurden, damit sie, wenn die Schneide die Flußsohle berührt, noch aus dem Flutwasser hervorragen. Auf dem Längensmeter der Schneide ruhten bei Beginn des Versenkens 20 t. Als der Caisson die Tiefe von 14,64 m unterhalb des Flußbettes erreicht hatte, wurde er bis auf 5,49 m mit Cementbeton gefüllt und dann ausgeschöpft; die übrigen Arbeiten wurden im Trockenen ausgeführt. Für die Aufnahme des Königsstuhles wurde im Pfeilerhaupt ein Granitblock von $2,7 \times 2,7 \times 0,92$ m eingemauert. Trotz der großen Senkungstiefe und obwohl während des

Senkens infolge einer Springflut sich der Caisson, als er 1,53 m in das Flußbett eingedrungen war, auf die Seite gelegt hatte, wich der Drehpfeiler nur um 12 mm aus der genauen Lage. Das Widerlager und der Pfeiler am Ende des langen Brückenarmes wurden aus mehreren kleineren Brunnen, die oben durch Gewölbe in Cementmauerwerk verbunden sind, gebildet und sämtlich durch Belastung geprüft, welche 50% mehr betrug, als Eigengewicht und Verkehrslast. Starke Holzkasten *L* (Fig. 24 *b*) schützen die geöffnete Brücke gegen anfahrende Schiffe; die Pfähle hierzu wurden nach dem System James Brunlees⁵⁾, das auch bei Arbeiten am Hafen von Calais Verwendung fand und einen Pfahl in 2 Minuten 6 bis 8 m einzutreiben gestattet, geschlagen.

Die Drehbrücke besitzt folgende Hauptabmessungen und Anordnungen: zwei ungleiche Arme 35,53 und 51,32 m, Gesamtlänge 86,85 m, Hauptträgerhöhe an den Enden 2,60 m, in der Mitte 9,78 m ($\frac{9,78}{86,85} = \frac{1}{8,87}$). Hauptträgerentfernung 8,38 m, Lichtweite 7,67 m, Fachteilung 5,185 m. Kastenquerschnitt für beide Gurtungen; die Schrägen sind steif, druckfähig ausgebildet. Die Schienen ruhen mittels der in England üblichen Lager auf Holzlangschwelen 40 × 12,5 cm und die ganze Brückentafel ist mit 6 mm starkem Blech abgedeckt. Als Material wurde weicher Stahl verwendet.

Die Brücke hat außer der Dreh- auch noch eine Schaukelbewegung auszuführen, um das Abheben von den Auflagern zu bewirken; das lange Brückenende wird 200 mm angehoben (die elastische Senkung des langen Endes beträgt 87 mm), während der kurze, mit 15 t Mehrgewicht belastete Arm sich senkt. Das Wiederaufheben desselben geschieht durch 2 unmittelbar unter den Hauptträgern angebrachte hydraulische Kolben von 625 mm Durchmesser und 218 mm Hubhöhe; ihre Tragkraft beträgt 300 t, da sie nicht nur das Übergewicht von 15 t, sondern auch den beträchtlichen Widerstand, den das Aufrichten der Hauptträger bietet und der nach Versuchen bis 269 t betragen kann, zu überwinden haben. Mit Ausnahme des eben erwähnten Übergewichtes von 15 t wird das Gesamtgewicht (732 t) auf die Hauptquerträger *m* (Fig. 27), deren Querschnitt nächst Königsstuhl und Hauptträger aus den Figuren 26 und 28 ersichtlich ist, und durch diese mittels des gußstählernen Querhauptes *a* (Fig. 26) von 5,84 t Gewicht auf den Königsstuhl durch 2 Stahlbolzen von 225 mm kleinstem Durchmesser übertragen. Das Querhaupt *a* ist (Fig. 25 *a*) so hoch angeordnet, daß es jederzeit der Besichtigung zugänglich bleibt und nahezu mit dem Gesamtschwerpunkt des ganzen beweglichen Teiles zusammenfällt. Das Querhaupt und die Bolzen sind auf 1000 t Belastung geprobt, überdies die Drehschemel (Fig. 28) angeordnet, welche bei etwaigem Bruch des Querhauptes oder der Bolzen die gesamte Last aufnehmen, bezw. die Brücke unabhängig vom Königsstuhl zu drehen gestatten. Sollte auch letzterer brechen, so senkt sich die Brücke um 25 mm auf den Drehpfeiler, der, um diesen Stoß aufnehmen zu können, mit einem kräftigen Ring aus Mauerwerk und Eisen abgedeckt ist.

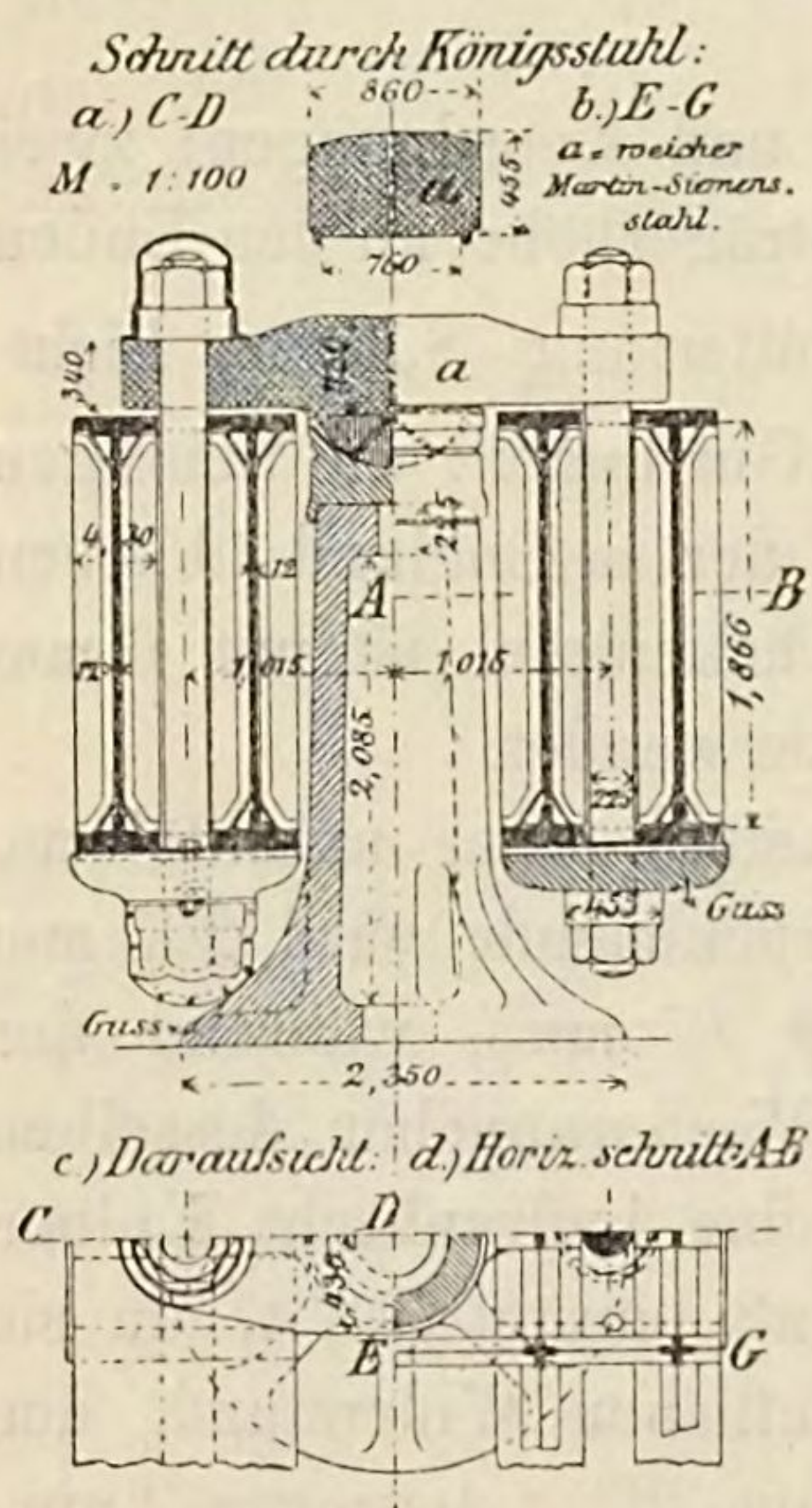
Der Drehzapfen (Fig. 26) ist durch ein Kugelsegment, in einer ebenso geformten Schale ruhend, gebildet; beide Stücke sind aus Schmiedeeisen mit gehärteter Oberfläche, soweit sie sich berühren; ihre größte Belastung ist 732 t, entsprechend einem Druck von 160 kg/qcm, unter der Voraussetzung vollständiger Berührung von Kugel- und Lagerfläche. In Wirklichkeit ist dieser Druck viel größer, da der Halbmesser der Kugelschale um 6 mm größer ist als jener des Kugelabschnittes (487 mm); die Reibungsfläche ist geölt (mit warmem Öl), welches nach 3 Drehungen erneuert wird; die Brücke wird täglich ungefähr 11mal geöffnet. Man hat einen festen Königsstuhl einem hydraulischen vorgezogen, weil die lotrechte Bewegung der Brücke ohnehin anderweitig erreicht wird.

⁵⁾ Génie civil, Bd. 21, S. 108.

Die beiden Kolben für die Drehvorrichtung (Fig. 25 b), wagrecht und parallel, sind auf in Gußmauerwerk eingelassenen Fundierungsplatten gelagert und mit Bolzen fest eingebunden; mittels Ketten mit dem Übersetzungsverhältnis 2:1 werden sie derart bewegt, daß der eine Kolben die Brücke schließt, während der andere sie öffnet. Das Ende jeder Kette ist auf dem Deckel jedes Cylinders befestigt, geht dann über eine Flaschenzugscheibe von 1,22 m Durchmesser, während das andere Kettenende die mit dem eisernen Überbau fest verbundene Trommel von 9,76 m Durchmesser halb umschlingt und die beiden Kolben in solcher Weise verbindet. Die Ketten sind möglichst kurz und ihre Glieder aus Stahl. Die Kolben besitzen 475 mm Durchmesser und 3,77 m Lauf; dies genügt für eine Drehung der Brücke um 90°.

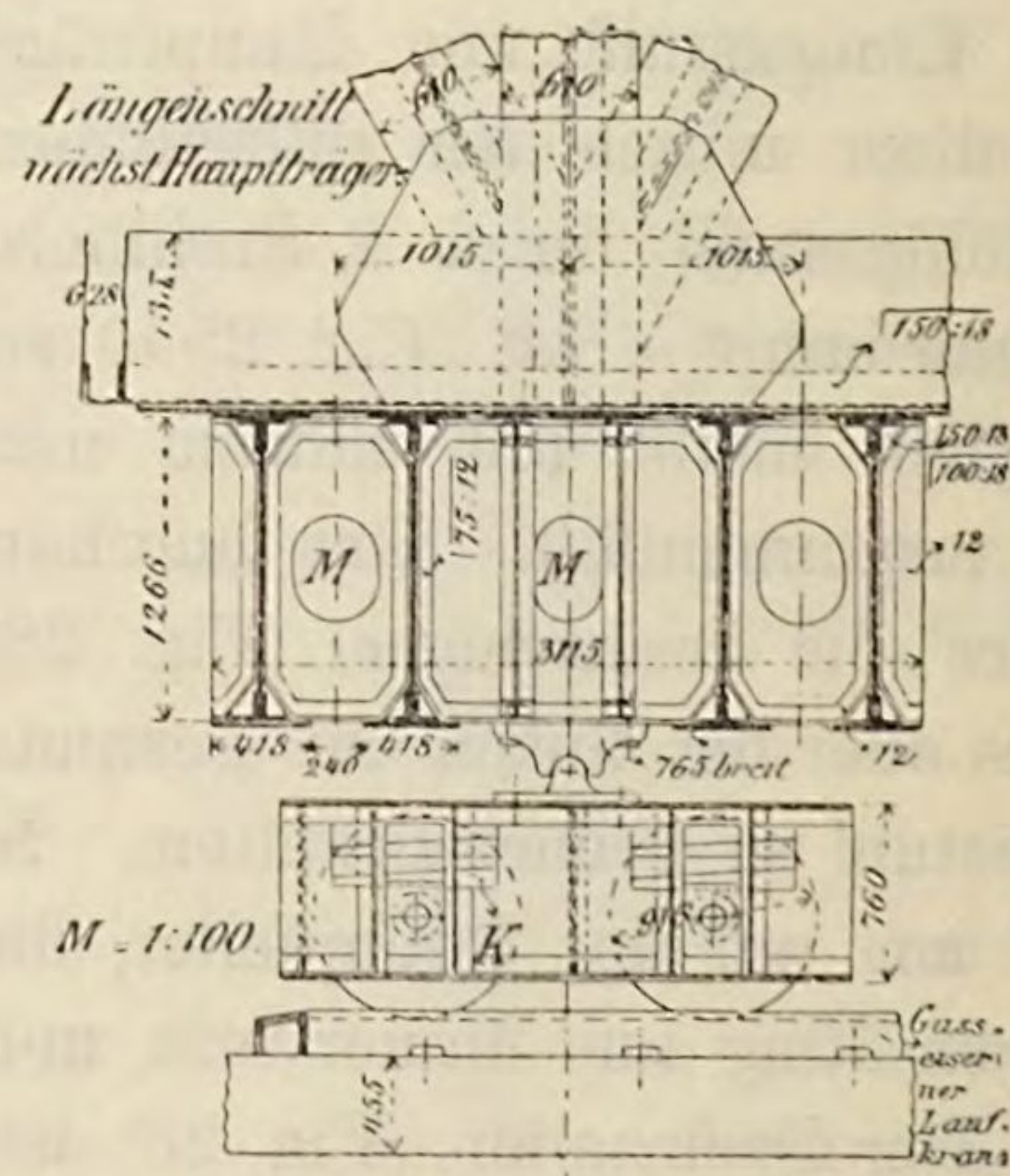
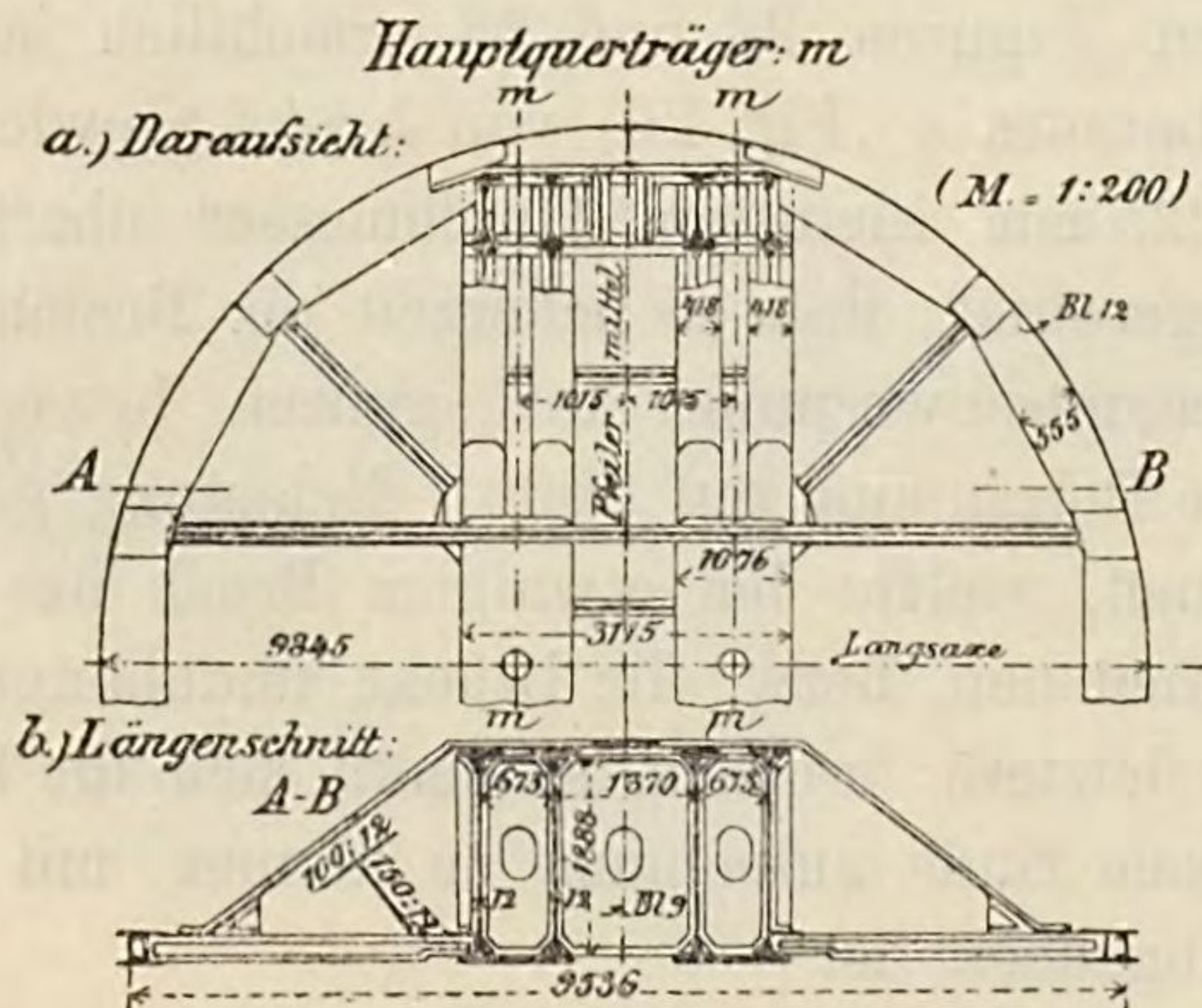
Fig. 26.

Hawarden-Drehbrücke.



Bremse. Auf jedem Cylinderdeckel sitzt eine hydraulische Bremse, die mit der Bewegung der Kolben selbstthätig wirkt und langsames und stoßloses Anlaufen und Halten der Brücke bezweckt. Versuche ergaben in den Drebcylindern einen Größtdruck von 65 Atm., während für gewöhnliche Verhältnisse nur 50 Atm. erreicht werden. Die ganze Anlage ist durch eine mittels Dampfrohr heizbare Kabine, deren Dach sich unmittelbar unter der Hauptträgergurtung befindet, gegen Witterungseinflüsse geschützt.

Fig. 27 u. 28. Hawarden-Drehbrücke.



Von den bereits erwähnten Drehschemeln, die zur Führung der Brücke beim Drehen dienen, ist je einer an den Enden des Hauptquerträgers (Fig. 28) angeordnet; die gußstählernen Rollen (915 mm) können durch die Stahlkeile *K* in den Lagern verstellt werden, sodafs man sie vollständig entlasten oder, wenn am Königsstuhl ein Bruch erfolgt, voll belasten kann. Für gewöhnlich haben sie blofs die Seitenkräfte aus Winddruck aufzunehmen. Durch die Einschaltung des 765 mm breiten Kipplagers (Guß) zwischen Drehschemel und Querträger ist die erforderliche lotrechte, sehr kleine Schaukelbewegung der Drehbrücke ermöglicht.

Drehschemel am Widerlager und deren Laufbahn. Am Ende des kurzen Armes sind an der Außenseite der beiden Hauptträger ebenfalls Drehschemel mit je

2 Gußstahlrädern (915 mm) befestigt; sie rollen auf einem Kreisrahmen von 35,07 m Halbmesser (Fig. 24 b) und können einen Bogen von 90° beschreiben. Jeder dieser beiden Drehschemel trägt eine kleine Winde und Presskolben, um die Brücke von Hand drehen zu können, falls die Maschine versagen sollte. Die Laufbahn für diese Drehschemel ruht auf 11,59 m langen schmiedeeisernen, kastenförmigen Trägern, die auf mit Beton gefüllten Gußcylindern lagern. Unter den kastenförmigen Trägern sind in vor Wasser geschützter und doch leicht zugänglicher Lage die Presswasserrohre, die vom Maschinenhaus am Cheshirer Ufer aus über *L* (Fig. 24 b) zu den Drehcylindern am Drehpfeiler führen, untergebracht.

Verriegelung der Brücke. Die lotrechte Schaukelbewegung hat nicht nur die Brücke in die richtige Stellung zu bringen, sondern die letztere auch zu sichern. Die Presskolben heben das mit einem Anschlag versehene Ende des kurzen Armes; der Anschlag paßt in eine mit dem Widerlager fest verbundene Rille; gleichzeitig lagern sich die Enden des langen Armes auf Gußplatten; nachdem so die Brücke in die richtige Stellung gelangt (eingedreht) ist, greifen feste Gußblöcke unterhalb der Hauptträger in das Schwanzstück, bilden ein festes Auflager für den kurzen Arm und halten gleichzeitig die ganze Brücke gegen Drehung in wagrechter Richtung fest. Diese Blöcke werden durch Handhebel und Vorgelege vom Turm des Maschinenhauses aus bewegt; es ist zwar auch Wasserdruckbetrieb dieses Vorgeleges vorgesehen, man hielt es aber für sicherer, diese Vorrichtung dem Maschinisten zuzuweisen, der unmittelbar gewarnt wird, wenn die Vorrichtung nicht richtig arbeitet, weil dann die Auflagerblöcke nicht an ihren bestimmten Platz treten. Ein Indikator nächst dem Handhebel zeigt dem Maschinisten den Augenblick an, in welchem die Auflagerblöcke ihre richtige Stellung eingenommen. Diese Blöcke sind stets zu reinigen und gut zu schmieren.

Die Motoren- und Dampfkessel-Anlage ist in dem Maschinenhaus am Ufer aufgestellt, am Ende des kurzen Brückenarmes. Die Einrichtung der Dampfmaschinen und hydraulischen Motoren ist doppelt. Es sind 2 Dampfkessel von je 12 und einer von 25 Pferdekraft mit 5 Atm. Druck aufgestellt; die zwei lotrechten, doppelwirkenden Pumpen haben je 2 Cylinder von 350 mm Durchmesser und 250 mm Hub, 2 Kolben von 94 mm Durchmesser und ein Paar sich das Gleichgewicht haltende von 65 mm Durchmesser. Die beiden Kraftsammler mit Kolben von 512 mm Durchmesser und 4,27 m Hub erhalten durch Belastung (mittels Gußcylinderblöcken) von 92 t 50 Atm. Druck. Der Fassungsraum jedes Kraftsammlers genügt für ein einmaliges Öffnen und Schließen und jede Pumpe hebt das Belastungsgewicht des Kraftsammlers in 10 Minuten in die höchste Stellung. Kraftsammler und Pumpen besitzen eine selbstthätige Vorrichtung zum Abgehen und Halten der Brücke; ebenso erfolgt der Schienen- und Fußgängerweg-Verschluss selbstthätig vom Maschinenhaus aus.

Alle hauptsächlichen Vorrichtungen sind mit Signalen für elektrische Mitteilung derart verbunden, daß dieselben nicht gegeben werden können, bevor alles in Ordnung ist, nicht nur die Brücke selbst, sondern auch die beiden Zufahrten.

Der zum eisernen Überbau verwendete Stahl hat 4900 kg/qcm Bruchfestigkeit und 49,3% Dehnung auf 250 mm Länge mit einer Einschnürung von 24,4%. Angaben über Gewichte und Kosten sind nicht gemacht.

b. Drehbrücken über den Manchester-Schiffkanal

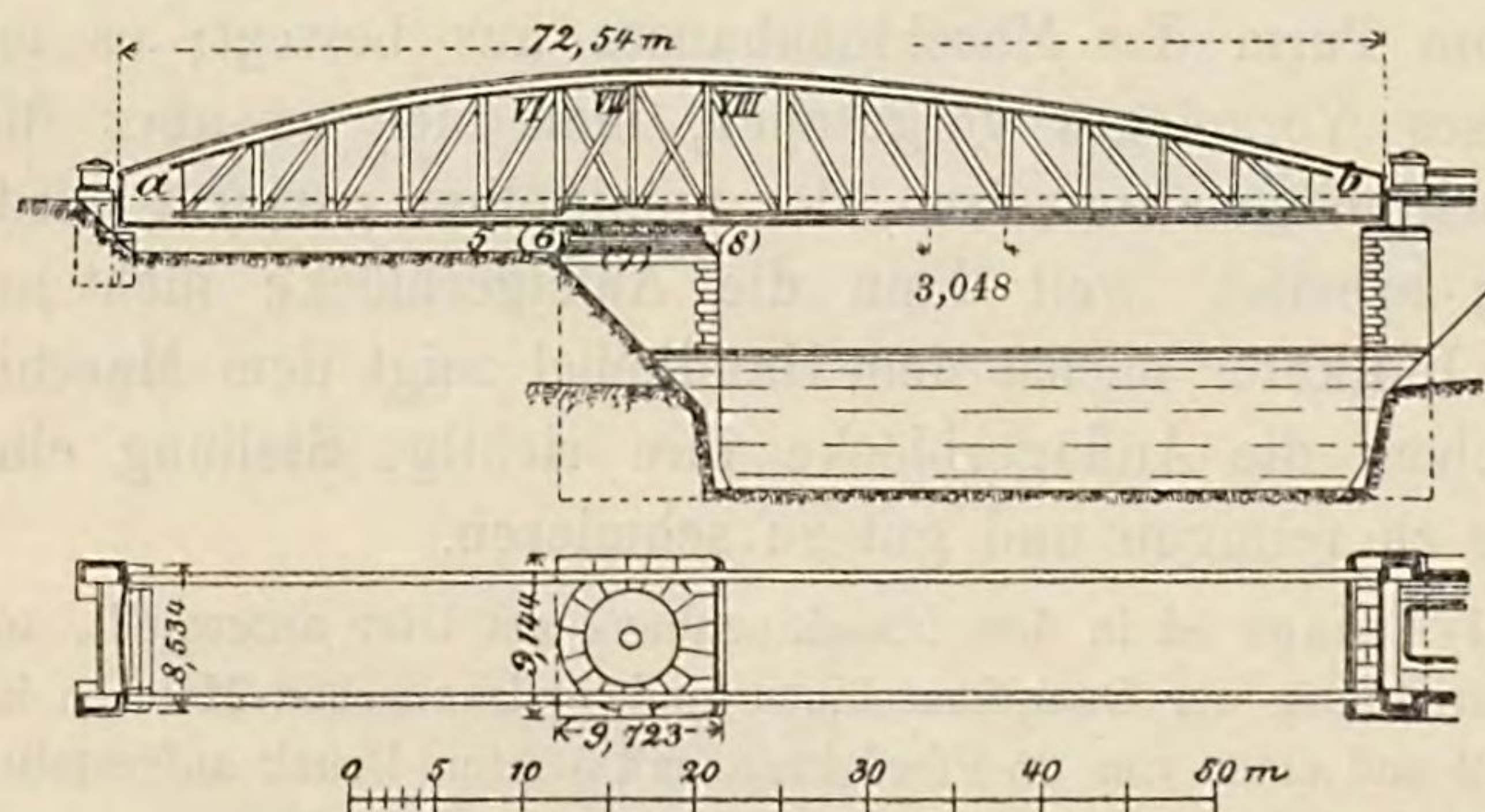
[Litt. 39 und 60.]

Der Bau dieses Kanales erforderte eine beträchtliche Anzahl von Brücken, von denen eine nicht unerhebliche Anzahl als Drehbrücken ausgeführt werden mußte. Eisenbahnen wurden ausschließlich mittels fester (hoch gelegener) Brücken über den Kanal geführt; es enthält demnach die nachstehende Tabelle nur die wichtigsten Angaben über die ausgeführten:

α) Straßendrehbrücken über den Manchester-Schiffkanal.

N a m e	Licht- weite m	Straßen- breite m	Langer Arm m	Kurzer Arm m	Größte Hauptträger- höhe m	Rollen- zahl	Rollen- durch- messer m	Gewicht t
Old Quay, Runcorn . . .	36,58	6,10	42,38	29,52	8,53	60	6,98	650
Moore-lane	36,58	7,62	42,67	29,87	8,45	64	8,48	790
Stag. Inn	36,58	7,62	42,67	29,87	8,43	64	8,48	790
Northwich-road	36,58	10,97	45,11	30,48	9,14	60	11,81	1350
Knut food-road	36,58	10,97	45,11	30,48	9,14	60	11,81	1350
Barton bridge	24,38	7,62	33,82	24,69	7,92	64	8,48	640
Trafford road	22,86	14,01	38,71	23,77	9,14	64	15,09	1800

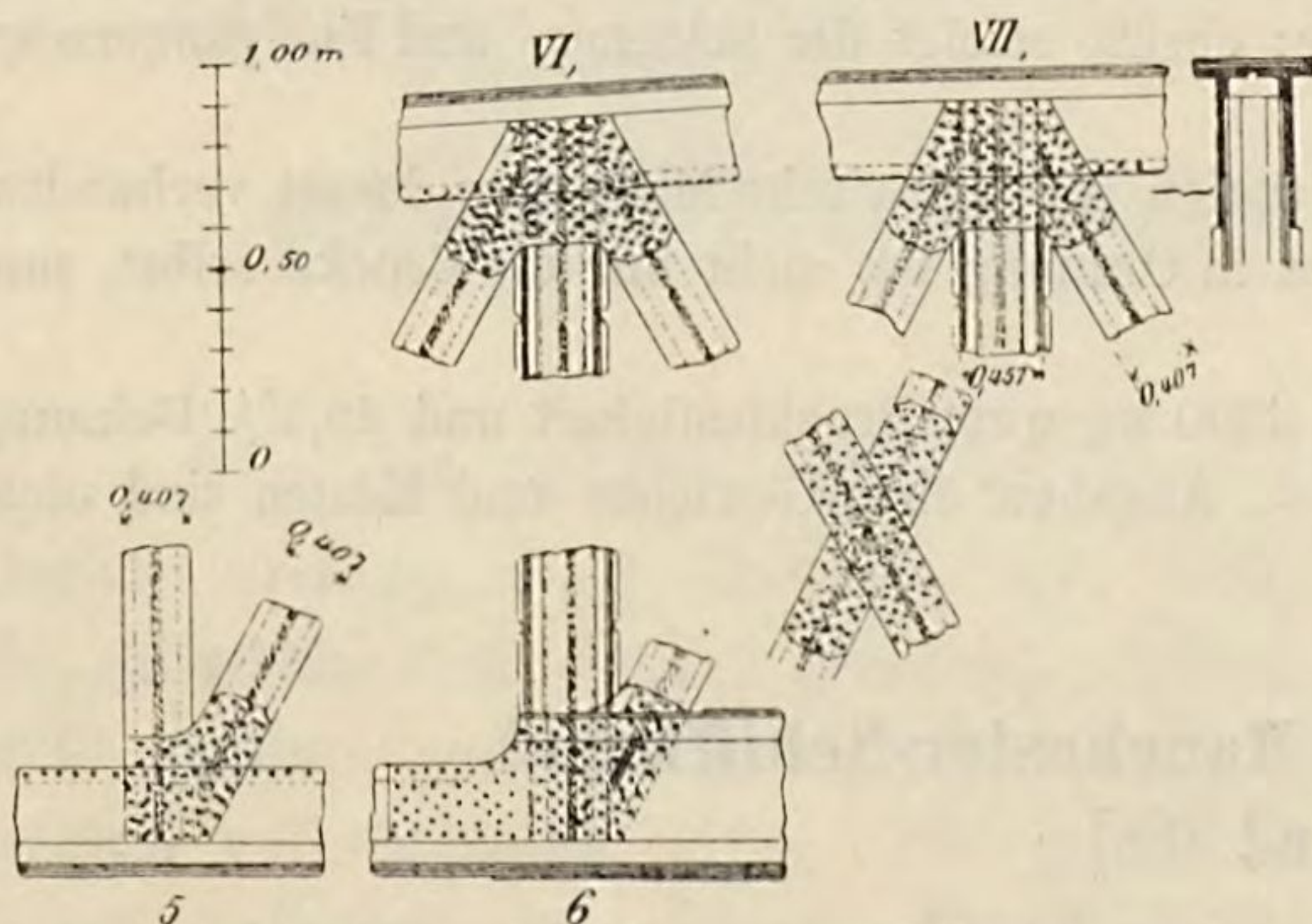
Die allgemeine Form der Hauptträger, sowie auch der unten zu besprechenden Barton-Aqua-
dukt-Brücke ist aus Fig. 29 zu entnehmen; der Gurtquerschnitt ist trogförmig, die Schrägstäbe größtenteils steif (H-förmig) ausgebildet (Fig. 30); die aus letzterer Figur ersichtliche Anhängung der Ausfüllungsstäbe mittels der überaus knapp bemessenen Knotenbleche an die Stehbleche der Gurtungen giebt jedenfalls Veranlassung zu bedeutenden Neben-



spannungen an den Knotenpunkten. Alle eisernen Überbauten dieses Kanales wurden, mit Ausnahme der Buckelplatten der Fahrbahn, für welche Schweißseisen verwendet ist, aus weichem Martin-Siemens-Stahl von 4,2 t/qcm Mindest- und 4,8 kg/qcm Größtbruchfestigkeit, bei 20% Dehnung auf 203 mm und 35% Einschnürung ausgeführt. Die Fahrbahntafel ist sehr schwer, meistens aus 19 mm⁶⁾ dicken Buckelplatten, mit Beton überdeckt, worauf 25 mm Sand, dann 19 mm Asphalt oder 127 mm dickes Holzpflaster kommt; die Fußwege sind aus 178 × 102 mm

starken pitch-pine-Hölzern oder asphaltiert; um das Gewicht der Fahrbahn zu mindern, sind die vollwandigen Blechquerträger mit geradem Unter- und nach der Fahrbahnoberfläche gekrümmtem Obergurt ausgeführt. Über dem Drehpfeiler werden fast alle Drehbrücken durch die bekannten Laufkränze mit konischen Laufrollen⁷⁾ unterstützt, wobei die Laufkränze mit dem Centralzapfen, der nicht zu tragen, sondern nur zu führen hat, durch Radialstäbe verbunden sind; die konischen Rollen der Laufkränze sind bei ungefähr 360 mm mittlerem Durchmesser 711 mm lang.

Fig. 30. Einzelheiten der Drehbrücken über den Manchester-Schiffkanal.



β) Die Barton-Kanal-Drehbrücke (swing aqueduct) ist die erste der Schifffahrt dienende Kanalbrücke überhaupt (Fig. 31). Die Schiffe können nur mit niedergelegten Masten durch dieselbe fahren, und es beträgt die nutzbare Wassertiefe des aus

10 mm starken Blechen angefertigten Troges 1,83 m. Der innere Leinpfad (Fig. 31) kann von Pferden begangen werden. Die äußere Form der Hauptträger stimmt mit

⁶⁾ Engineering 1894 I, S. 119.

⁷⁾ Engineering 1894 I, S. 120 u. 121.

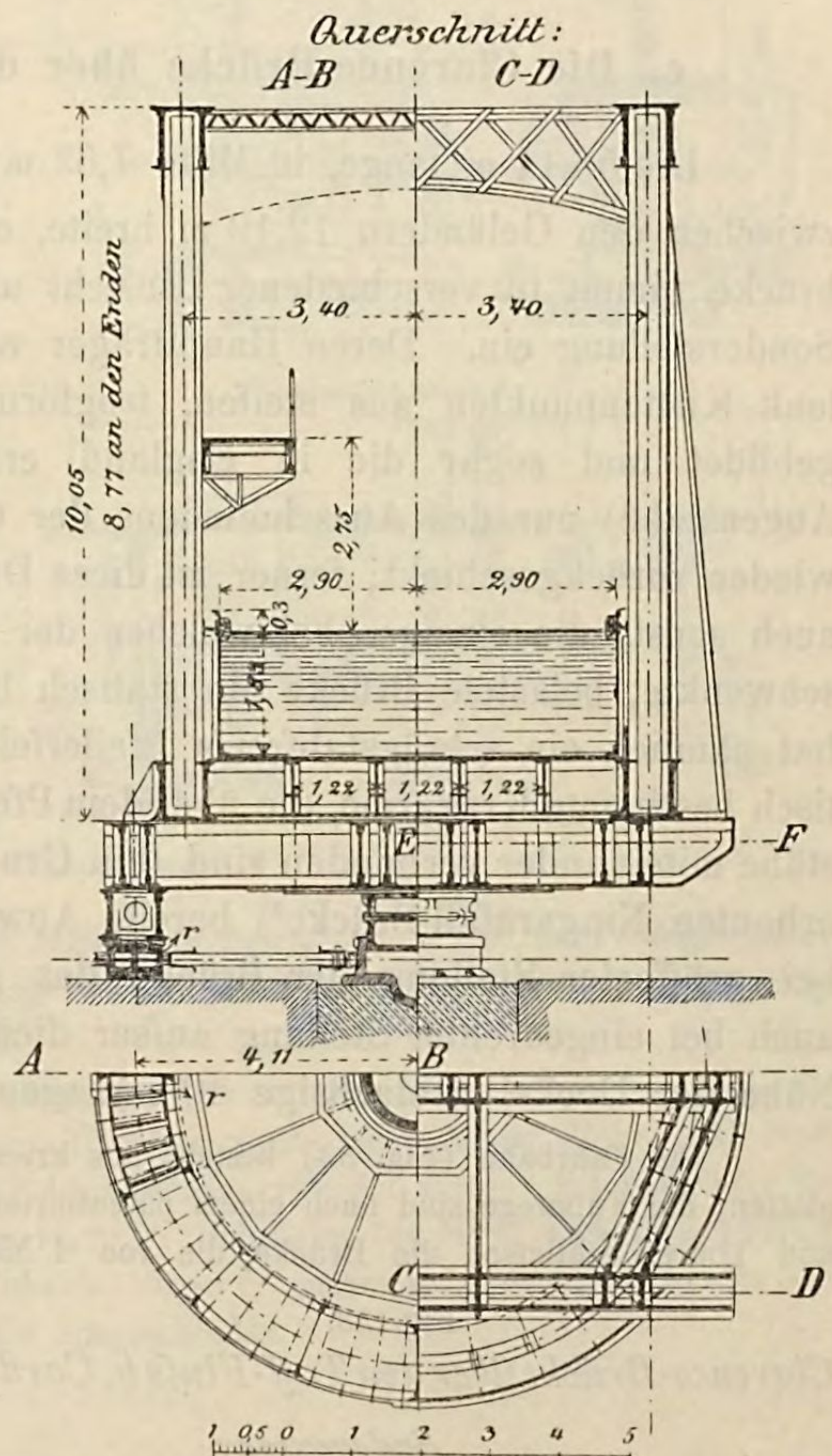
Fig. 29 im allgemeinen überein; nur ist die Brücke selbstverständlich gleicharmig und besitzt eine Länge von 71,67 m bei 10,05 m Höhe über dem Drehpfeiler ($\frac{10,05}{71,67} = \frac{1}{7,12}$). Die Notwendigkeit, die Brücke mit gefülltem Wassertrog ausdrehen zu können, führte zur Anordnung ganz besonderer Verschlüsse an den Enden; das gesamte zu bewegendes Gewicht einschließlich des Wassers beträgt 1600 t; hiervon werden jedoch in diesem Falle nur 800 t von dem Rollenkranz, die übrigen 800 t von dem als hydraulische Presse ausgebildeten Königsstuhl übernommen. Da die Drehvorrichtung über dem Pfeiler nicht nur die Brücke zu drehen, sondern auch Verschiebungen des Wassers nach den Enden hin zu verhüten hat, stützen sich die Hauptträger auf drei doppelwandige, kastenförmige Querträger (Fig. 31), die ihrerseits beim Drehen auf einem schmiedeeisernen, kastenförmigen Ringträger ruhen. Der Cylinder des Königsstuhles ist aus Gufseisen, nur 686 mm tief, bei 1,46 m lichtem Durchmesser; unter den Presskolben dieses Cylinders wird erst beim Anheben der Brücke Druckwasser geleitet und nur so lange, bis ungefähr 800 t von der Presse aufgenommen sind, wobei der Rollenkranz um den gleichen Betrag entlastet wird. Die Drehkraft wird mittels zweier Zahnradgetriebe gewonnen, die in den an der Außenseite des Rollenkranzringes ungebolzten gezahnten Stahlkranz eingreifen, und durch eine zweicylindrige oscillierende Wasserdruck-Maschine gebräuchlicher Gattung angetrieben werden.

Der Abschluß der Kanal-, sowie der beiden Brückenenden geschieht durch je ein einflügeliges, doppelwandiges, um eine senkrechte Axe drehbares Eisenthor; die Dichtung mittels Gufsstücken und Holzanschlag; die Drehung der Thore mittels Presswasser.

Die Dichtung der zwischen Kanal- und Brückenende verbleibenden Fuge wird erzielt durch den ganzen Kanalrand umschließende Keilstücke, in welche Kautschukleisten (Fig. 32 schraffiert) eingezwängt werden; die Hebung und Senkung eines solchen 12 t schweren Stückes erfolgt hydraulisch durch 4 Stempel, von denen 2 oben, 2 unten angreifen.

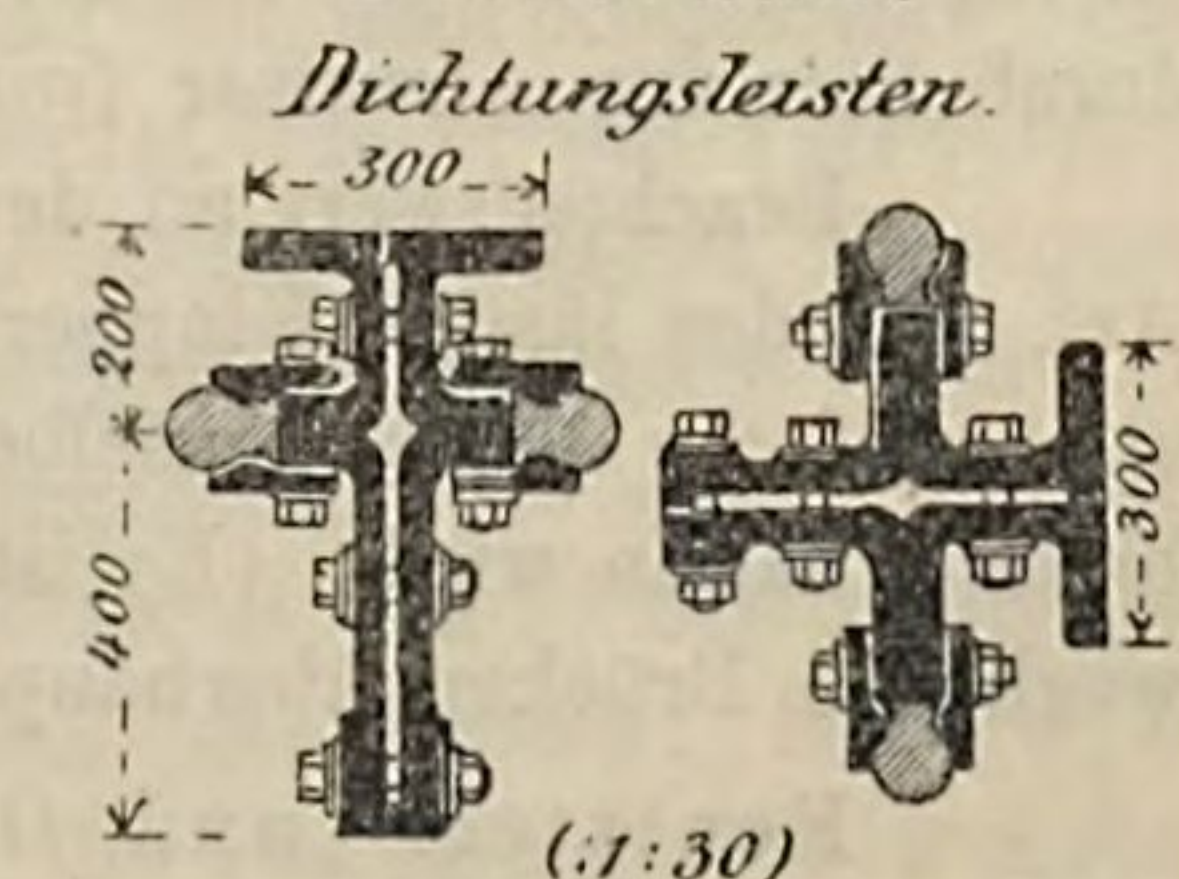
Zur Abmilderung aller Stöße beim Eindrehen der Brücke sind Wasserdruck-Puffer, zum Feststellen der Brücke ist ein Bolzen, der beim Schließen der Brücke einklinkt, angeordnet.

Fig. 31. Barton-Kanal-Drehbrücke.
Querschnitt über Drehpfeiler.



Aufsicht a. d. Rollkranz. Horiz. Schnitt: E-F.

Fig. 32. Barton-Kanal-Drehbrücke.



Zur Bedienung der Brücke sind 4 hydraulische Maschinen aufgestellt, 2 für die Drehbewegung und je eine an den Brückenenden zur Bedienung der Thore und Dichtungsleisten. Nächste der Kanalbrücke steht die hydraulische Kraftstation, deren Maschinen und Pumpen gleichzeitig für die in nächster Nähe befindliche Straßenbrücke dienen, wobei die Bewegung beider Brücken von einem gemeinsamen Steuerturm aus geleitet wird. Das Drehen der Kanalbrücke erfordert nur wenige Minuten. Nähere Gewichts- und Kostenangaben sind nicht gegeben.

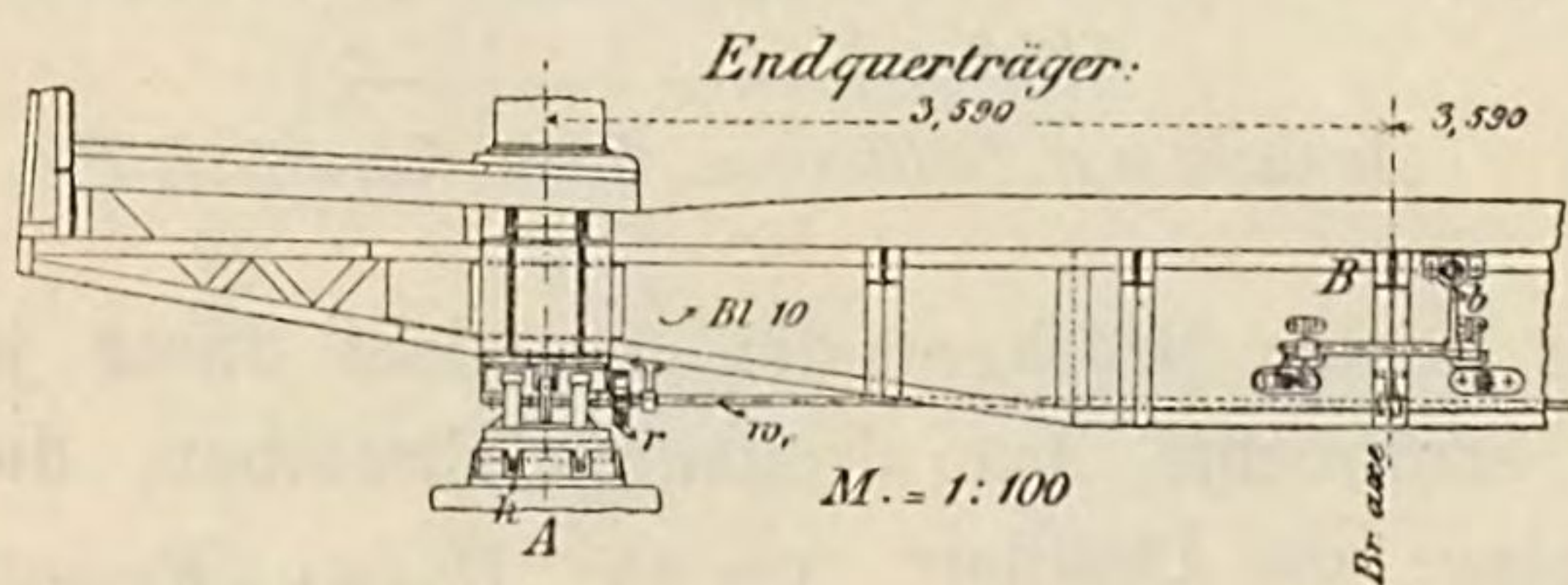
c. Die Clarence-Brücke über den Taff-Fluss bei Cardiff [Litt. 38].

Die 58,11 m lange, in Mitte 7,62 m ($\frac{7,62}{58,11} = \frac{1}{7,6}$), an den Enden 5,18 m hohe, zwischen den Geländern 12,19 m breite, oben geschlossene Drehöffnung dieser Straßenbrücke nimmt in verschiedener Hinsicht unter den neueren englischen Drehbrücken eine Sonderstellung ein. Deren Hauptträger wurden nach amerikanischem System mit Gelenk-Knotenpunkten aus steifen, trogförmigen Druck- und schlaffen Zuggliedern ausgebildet und sogar die in England erzeugten Schrägstäbe (Zugbänder, sogenannte Augenstäbe) nur des Ausschmiedens der Gelenkköpfe⁸⁾ halber nach Amerika und dann wieder zurückgeschickt; ferner ist diese Drehbrücke in England, und soviel uns bekannt auch sonst, die einzige, bei welcher der Versuch gemacht wurde, auch für die eingeschwenkte, belastete Brücke ein statisch bestimmtes Hauptträgersystem zu erhalten; sie hat nämlich ein schrägstabfreies Pfeilerfeld (Querkraft-Nullfeld) und bildet so zwei statisch bestimmte Kragarme, die über dem Pfeiler nur durch die beiden wagrechten Gurtungsstäbe miteinander verbunden sind (ein Grundgedanke, der 1883 bei der von Schneider erbauten Niagarafall-Brücke⁹⁾ bereits Anwendung fand). Der Drehpfeiler hat nicht nur bei geöffneter Stellung der Brücke das ganze Eigengewicht, ungefähr 500 t, sondern auch bei eingedrehter Stellung außer diesem noch die Verkehrslast (für die, wegen der Nähe der Docks, zweiachsige 40 t-Wagen zu rechnen waren) zu tragen.

Die Fahrbahn (Fig. 33) besteht aus kreosotiertem Holzpflaster auf Beton und eisernen Buckelplatten; die Fußwege sind nach einem patentierten Verfahren (Beton) gepflastert. Hölzerne Schlagbäume und Thüren schließen die Brücke, die von 4 Mann in 5 Minuten geöffnet werden kann, ab, wenn sie

Fig. 33.

Clarence-Brücke über den Taff-Fluss b. Cardiff.



ausgedreht ist. Da der Zwischenraum zwischen Fahr- und Fußweg mit Gussplatten abgedeckt, ist der Zwischenverkehr sehr bequem. Die schmiedeeisernen Geländer sind mit gusseisernen Verkleidungsstücken reich geschmückt und daher sehr schwer. Die Gründung des Drehpfeilers erfolgte durch das Luftdruckverfahren und wurde der Pfeiler nach seiner Vollendung mit 1000 t künstlich belastet (dies überschreitet die größtmögliche tatsächliche Belastung durch die Brücke selbst um

30%), wobei eine Senkung von 8 mm beobachtet wurde. Die Enden der ausgedrehten Brücke erhalten durch hölzerne Abweiser (*pitch-pine*) Schutz gegen anfahrende Schiffe.

Beachtenswert an der Einzelanordnung des bereits kurz beschriebenen eisernen Überbaues ist die Art, wie das lästige Klappen der schlaffen Gegenschrägstäbe in der oberen Windverspannung, durch auf sehr einfache Weise denselben erteilte künstliche Anspannung (nach vorliegender Mitteilung mit Erfolg) hintangehalten wird. (Es ist jedoch in jeder Hinsicht empfehlenswert, schlaaffe Ausfüllungsbänder bei beweglichen Brücken überhaupt nicht zu verwenden.)

Feststell- und Getriebevorrichtungen. Je 2 Längswellen laufen an jeder Seite der Brückenlängsaxe von der Pfeilermitte zu den Brückenenden; die eine hemmt mittels eines entsprechend ver-

⁸⁾ W. Ritter, Der Brückenbau in den vereinigten Staaten Nord-Amerikas. Bern 1894. S. 25 bis 28.

⁹⁾ A. Hübner, Der durchgehende Träger mit Querkraft-Nullfeldern. Zeitschr. f. Bauw. 1891, S. 552.

bundenen Federbolzens s (Fig. 34 *b*) die wagrechte, die andere (Fig. 34 *a*) schließt die lotrechte Bewegung der Brücke. Beide werden durch je ein Gangspill, deren Ansatz für gewöhnlich mittels Gufsdeckel abgeschlossen ist, von der Brückenmitte aus durch Kegelräderübersetzung angetrieben. Fig. 34 *b* zeigt die Einzelheiten der am Endquerträger bei B (Fig. 33) angebrachten Endverriegelung, deren Wirkungsweise ohne weiteres aus der Figur ersichtlich ist. Die Sperrvorrichtung in lotrechter Richtung ist durch Fig. 34 *a* dargestellt. Sie besteht im wesentlichen aus einem gusseisernen Kipper (*rocker*) und einem Sperrhebel e (*locking*) aus schmiedbarem Guß, von denen ersterer an den beiden Aufsenexcentern, der letztere auf dem Mittelexcenter der Excenterwelle W_1 (Fig. 34 *a*) sitzt. Da nun der Aufsenexcenter 19 mm, der innere nur 9,5 mm Excentrizität besitzt, wird für die in Fig. 34 *a* dargestellte Stellung eine halbe Drehung der Welle W_1 den Kipper um 38 mm heben und das Rollenende der Sperrhebel dabei um einen entsprechenden Betrag senken. Die Bewegung der Excenterwelle erfolgt durch W_3 (in Fig. 33 irrtümlich mit W_1 bezeichnet) mittels eines Zahnradpaares r (in den beiden Figuren 33 u. 34 *a* ist nur das vorn gelegene Zahnrad sichtbar). Die Fußplatte k (Fig. 34 *a*) ist durch Keile genau einstellbar. Während der Brückendrehung befindet sich also der Kipper in der niedrigsten und der Sperrhebel e in der höchsten Stellung. Die Fußplatte ist dabei durch die Keile (Fig. 34 *a*) nur soweit angekeilt, daß sie das Brückenende gerade berührt, ohne dieselben um einen merkbaren Betrag zu heben, damit keine Kräfte in den Hauptträger gelangen. Diese ganze Vorrichtung wurde verstellbar eingerichtet für zeitweilige Änderungen in den Gewichten (z. B. der Fahrbahntafel).

Die Drehbewegung erfolgt mit dem üblichen Zahnkranzgetriebe auf dem Rollenkranz, aus konischen Stahlrollen bestehend, von Brückenmitte aus. Der eiserne Überbau wurde aus weichem Stahl (*mild steel*) hergestellt, mit Ausnahme der Buckelplatten, für welche Schweifseisen verwendet wurde. Eisengewichte der Drehbrücke: Hauptträger 82,40 t; obere Verspannung 16,30 t; Fahrbahn 144,90 t; Geländer 16,35 t; Dreh- und Feststellgetriebe 9,10 t; Drehkranz und Zubehör 80,40 t; zusammen 349,45 t. In den eingehenden Kostenangaben ist leider die Drehöffnung nicht ausgeschieden.

d. Drehbrücke über den Glamorganshire-Kanal [Litt. 36].

Diese Straßenbrücke, deren Hauptabmessungen und Anordnung aus den Figuren zu entnehmen ist, kreuzt den Kanal unter 73° und wird auch immer unter diesem Winkel gedreht.

Die Hauptträger haben geraden Untergurt und geschweiften Obergurt mit engmaschigem Netzwerk aus Flacheisen, abgesteift durch Pfostenwinkel. Das ganze Eigengewicht ruht auf dem Kugelzapfen und dem eigenartig gestalteten Königsstuhl d ; der Ballast des kurzen Armes beträgt 133 t; die Verkehrslast wird durch die Räder B , bezw. C , die durch Federn auch bei unbelasteter Brücke in steter Berührung mit der Laufbahn bleiben, an den Enden und dem Königsstuhl aufgenommen; die Räderpaare E und F stützen die ausgeschwenkte Brücke gegen Winddruck, liegen jedoch bei eingedrehter Brücke nicht auf; sämtliche Räder sind in der Höhenlage genau verstellbar. Jedes der 4 Räder B und C besitzt ein gesondertes Auflager (Fig. 35 *c*) mit geneigten Anlaufflächen zum Eindrehen der Brücke; letztere ist deshalb jedenfalls beim Einschwenken Verdrehungskräften ausgesetzt. Für die Bewegung sind 2 Zahnradgetriebe von Hand angeordnet; mit dem langsamen Getriebe benötigen 2 Mann: 4 Minuten und 2 Sekunden, mit dem schnellen 4 Mann: 2 Minuten 10 Sekunden für eine Drehung um 73° . Der Reibungsbeiwert für den Kugelzapfen, dessen Kuppe und Schale aus bestem Tiegelgußstahl (bis zur gelben Anlauffarbe gehärtet) besteht, wird mit 0,118 angegeben.

Fig. 34. *Clarence-Brücke.*

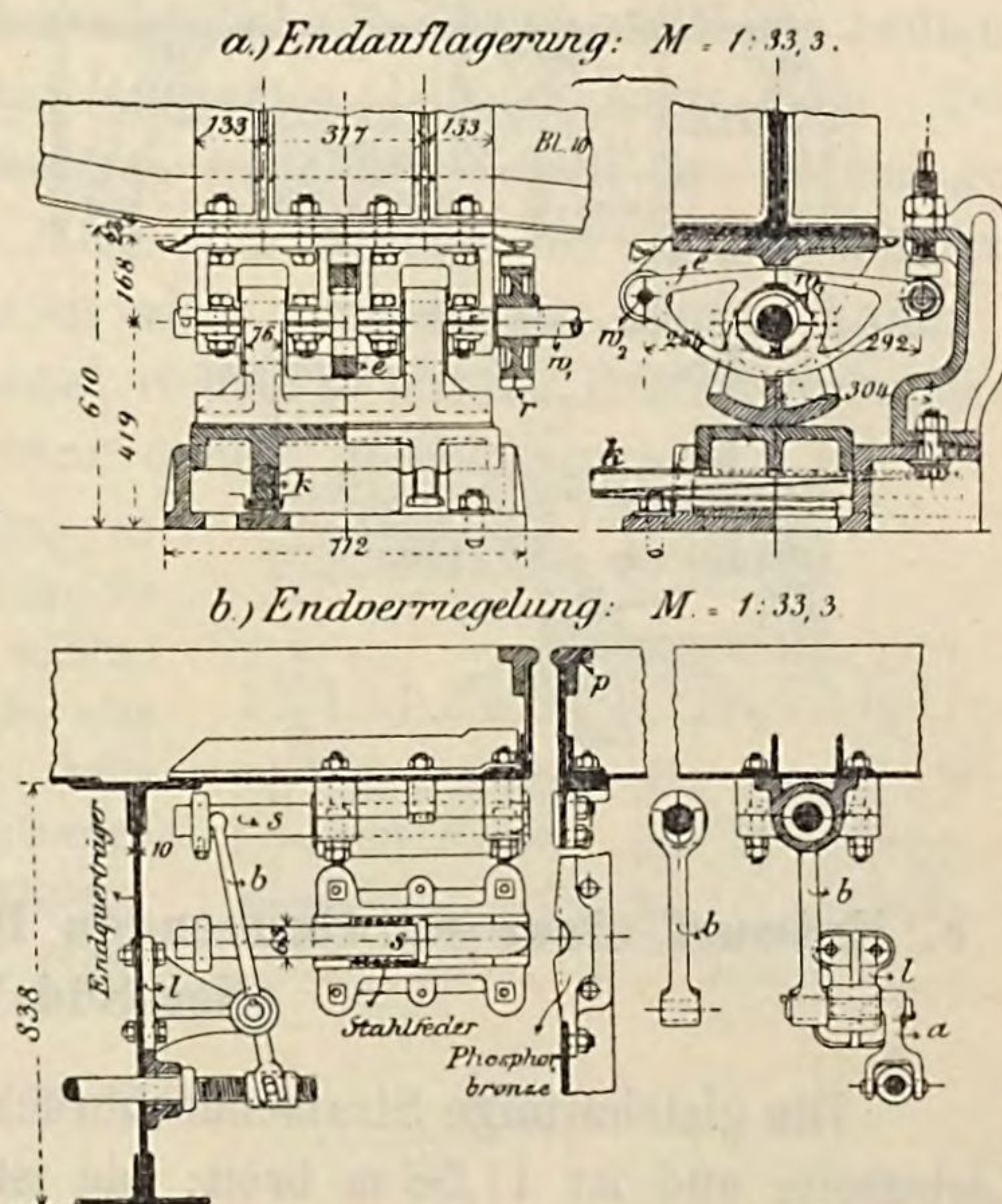
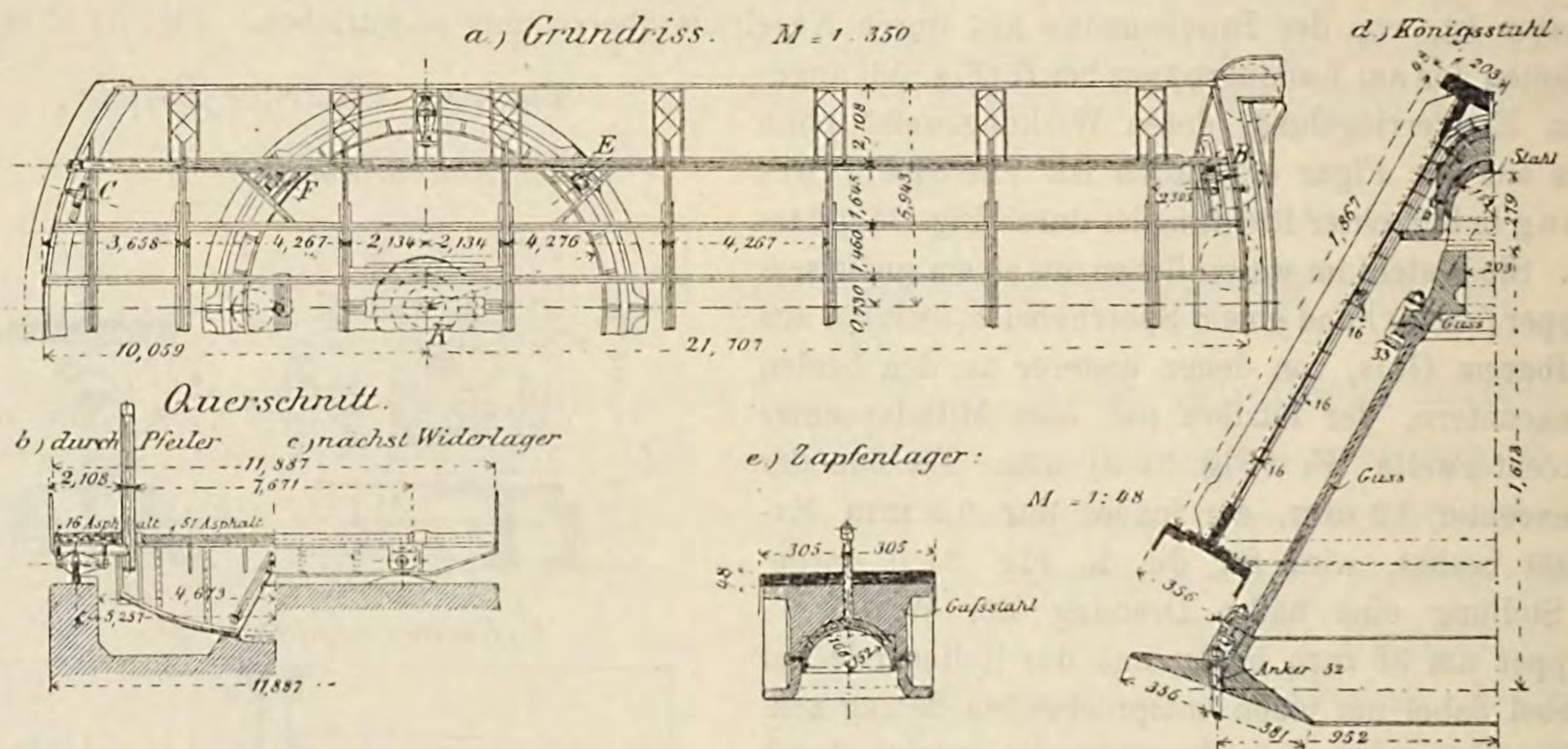


Fig. 35. Drehbrücke über den Glamorganshire-Kanal.



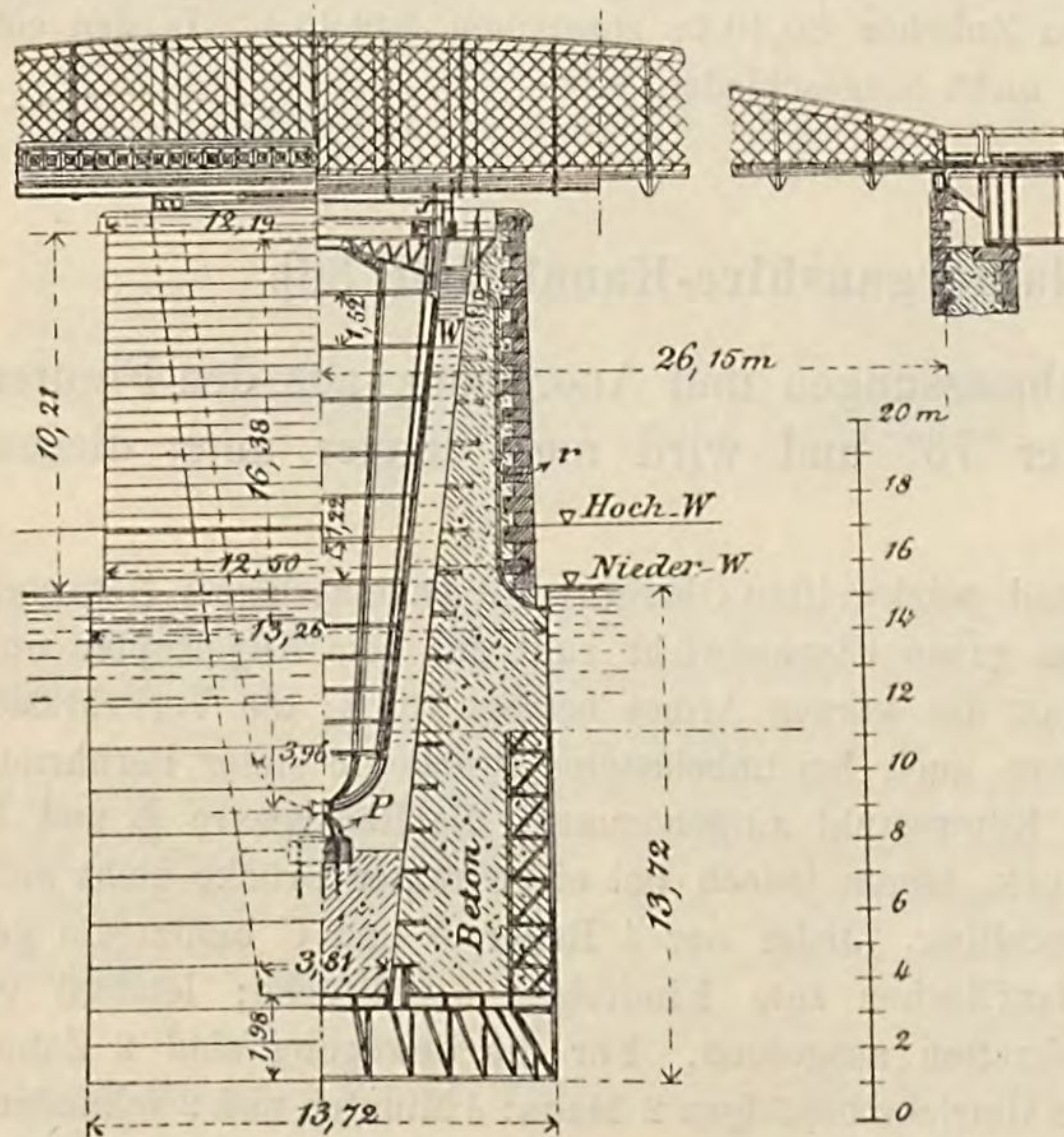
e. Entwurf einer schwimmenden Drehbrücke im Darling-Hafen bei Sidney (Neu-Süd-Wales) [Litt. 48].

Die gleicharmige Straßendrehbrücke besitzt 2 Durchfahrtsöffnungen von je 18,29 m Lichtweite und ist 11,58 m breit; sie ist für sehr schwere Belastung 635 kg/qm, bzw. zweiachsige 30 t-Wagen berechnet.

In dem hohlen, teilweise mit Wasser gefüllten Drehpfeiler schwimmt ein umgekehrter, ebenfalls hohler Stahlblech-Konus, der beim Ausdrehen der Brücke zum Schwimmen gebracht wird, wobei, von der Windwirkung abgesehen, als einziger Widerstand die Reibung dieser schwimmenden Boje (aus 9,5 mm dickem Blech) zu überwinden ist; die letztere ist entsprechend abgesteift.

Fig. 36. Drehbrücke im Darling-Hafen bei Sidney (Australien).

Längenschnitt: Längenschnitt:



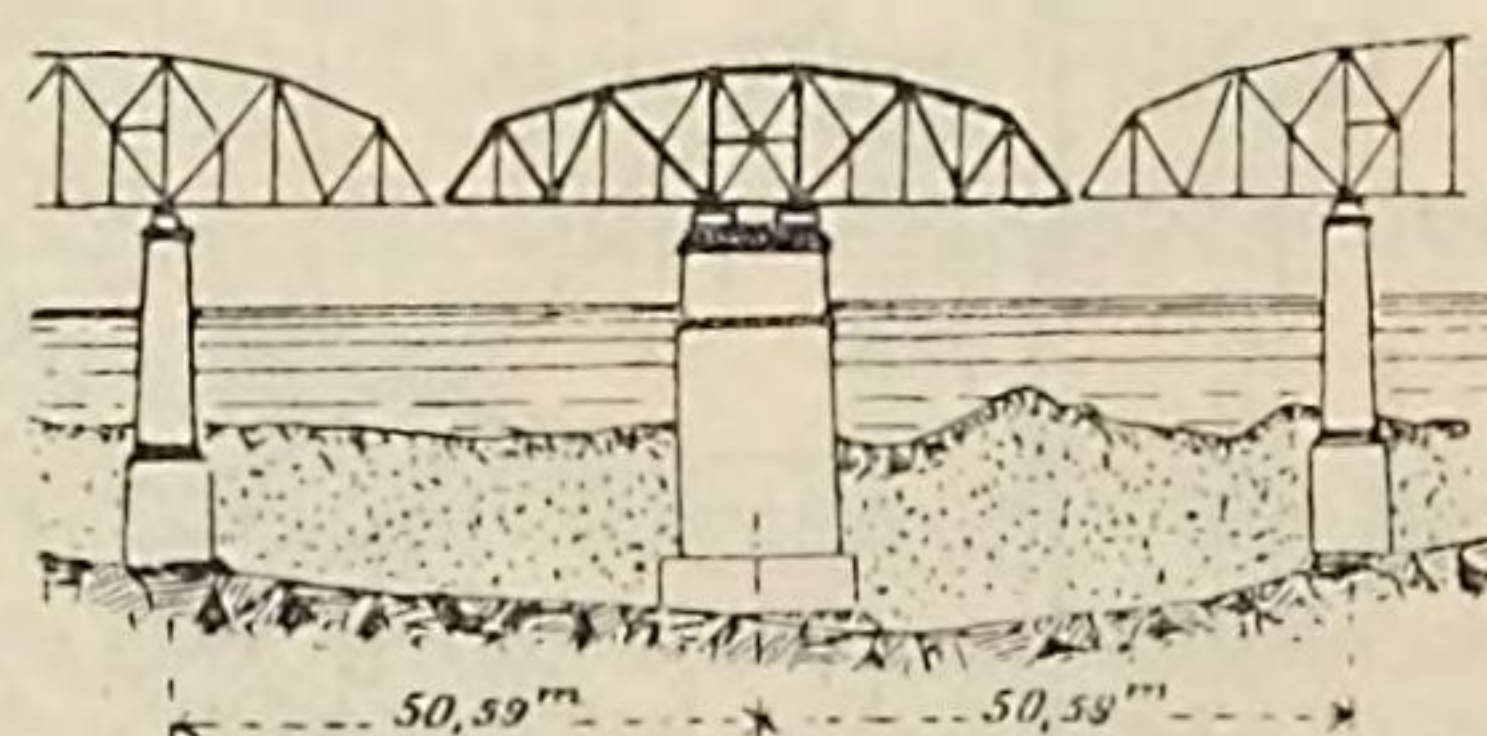
P mit der Boje wird in allen Stellungen der Brücke aufrecht erhalten; die Brücke kann so in verschiedenen Höhenlagen gedreht werden. Der Überschuss der Boje

an Schwimmkraft wird durch Ballast ausgeglichen. Mit Rücksicht auf Rostbildung wird nur frisches Wasser benutzt, das mittels einer Rohrleitung, die mit Hähnen und Ventilen versehen ist, zugeführt wird. Die Ein- und Auslaßhähne zum Heben und Niederlassen der Brücke sind doppelt angeordnet und werden vom Fahrweg aus bedient. Das Drehgetriebe, aus Zahnrad, Führungsrollen u. s. w. bestehend, kann von einem Mann bedient werden, nur ist für besondere Fälle (Wind) ein langsames Getriebe vorgesehen. Die Brücke kann durchgedreht werden. Vor der Drehung muß die Brücke um 51 mm gehoben werden; die Ausbildung des Fußlagers läßt eine Hebung bis zu 100 mm zu, welche selbst im Falle des Versagens eines Ventiles nicht überschritten werden kann.

An den beiden Widerlagern sind Schlagbäume, welche so mit der Brücke verbunden sind, daß dieselbe nur geöffnet werden kann, wenn erstere geschlossen sind.

Für die eben besprochene Brücke lag auch der in Fig. 37 skizzierte Entwurf eines amerikanischen Ingenieurs vor, der die weite Pfeilerstellung wegen der großen Gründungstiefe wählte; er bezweckt durch die Freilage der Enden der Drehbrücke eine Verminderung erfahrungsgemäß auftretender Störungen beim Öffnen und Schließen der von der Sonne ungleich beschienenen Hauptträger. Bei aufgedrehter Brücke müssen die Kragarmenden der festen Öffnungen durch hölzerne Schutzwerke gegen anfahrende Schiffe gesichert werden.

Fig. 37. Entwurf.

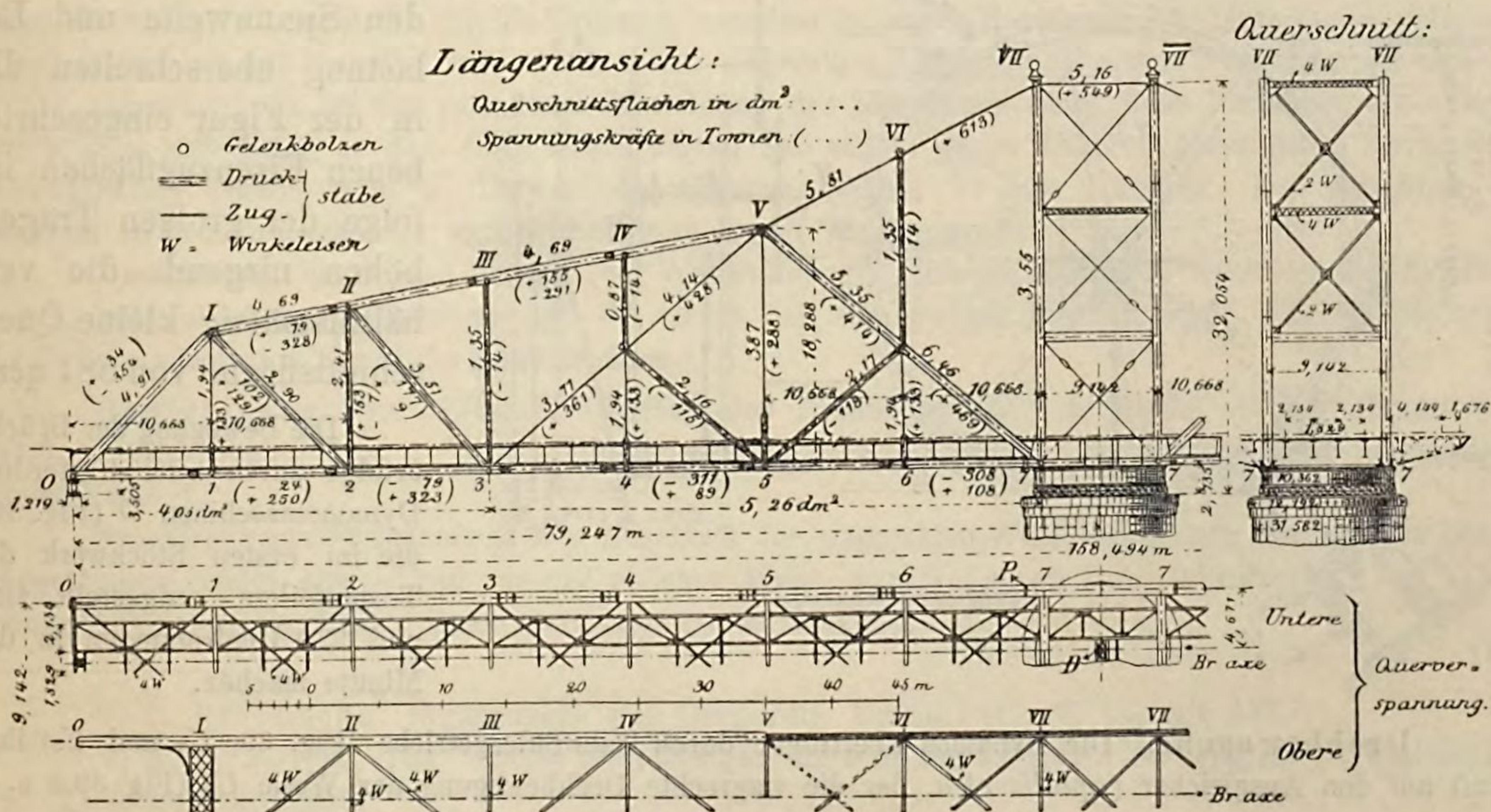


3. In den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika.

a. Das Drehfeld der Interstate-Brücke in Omaha (Nebr.) [Litt. 55]

ist gleicharmig (wie fast alle großen amerikanischen Drehbrücken), und besitzt eine Gesamtlänge von 158,494 m bei 32,054 m Höhe über dem Drehpfeiler, welcher den gewaltigen Durchmesser von 31,58 m hat ($\frac{32,05}{158,49} = \frac{1}{4,95}$); sie ist zur Zeit die längste

Fig. 38. Interstate-Brücke in Omaha (Nebr.)



und eine der schwersten Drehbrücken der Welt, da ihr Gewicht mit den vorderhand nur ausgeführten Doppelbahngleisen 1360 t beträgt, das sich, wenn die in der Figur punktierten Kragarme an den Trägersäulenseiten für die Trambahnen und Fußwege hergestellt sein werden, auf rund 2000 t erhöhen wird. Die erforderlichen Spannkraften und Querschnittsflächen sind in der Figur eingeschrieben; die Fachweite ist sehr

Fig. 39 u. 40. Interstate-Brücke. Drehvorrichtung.

Fig. 39.

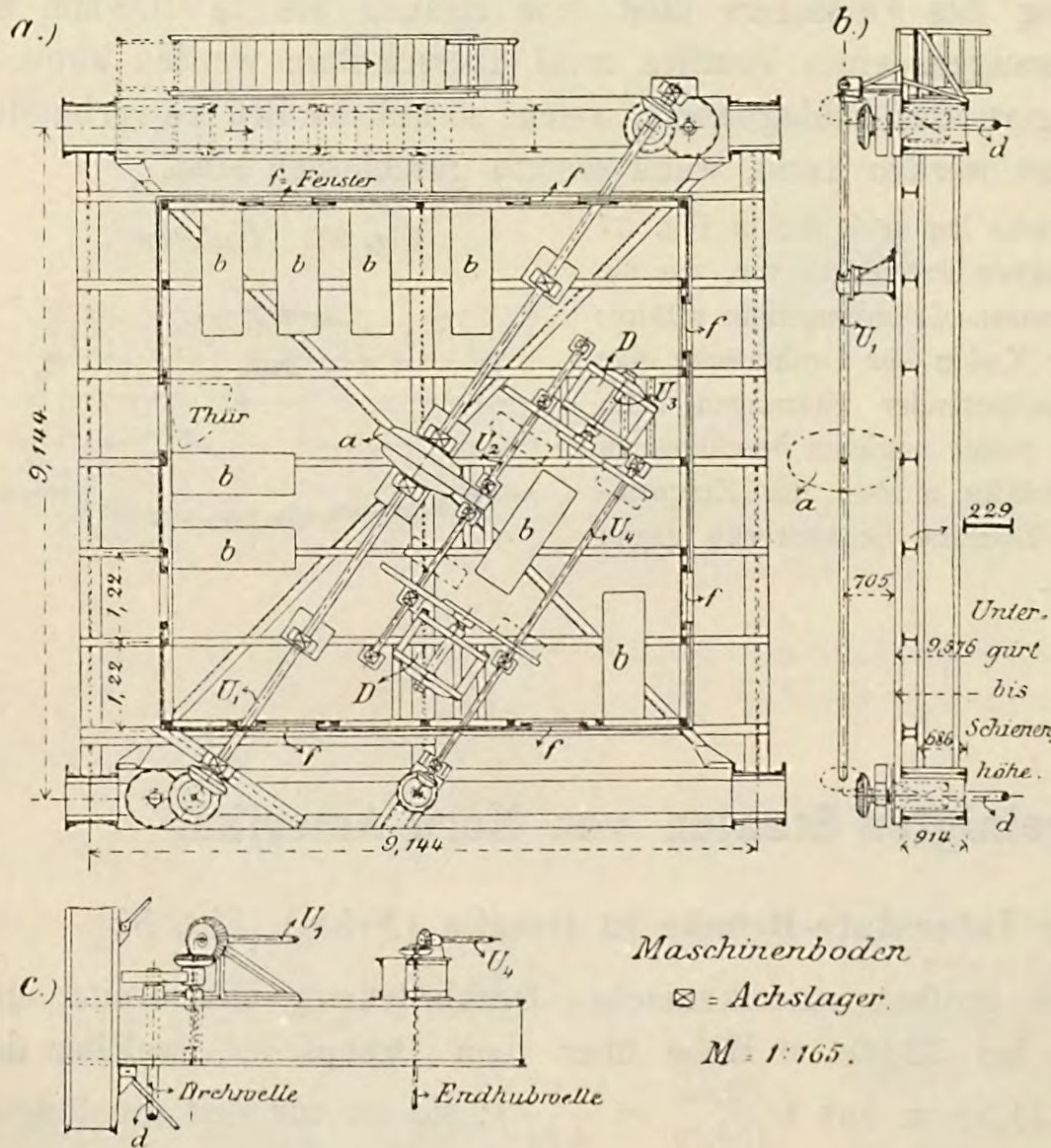
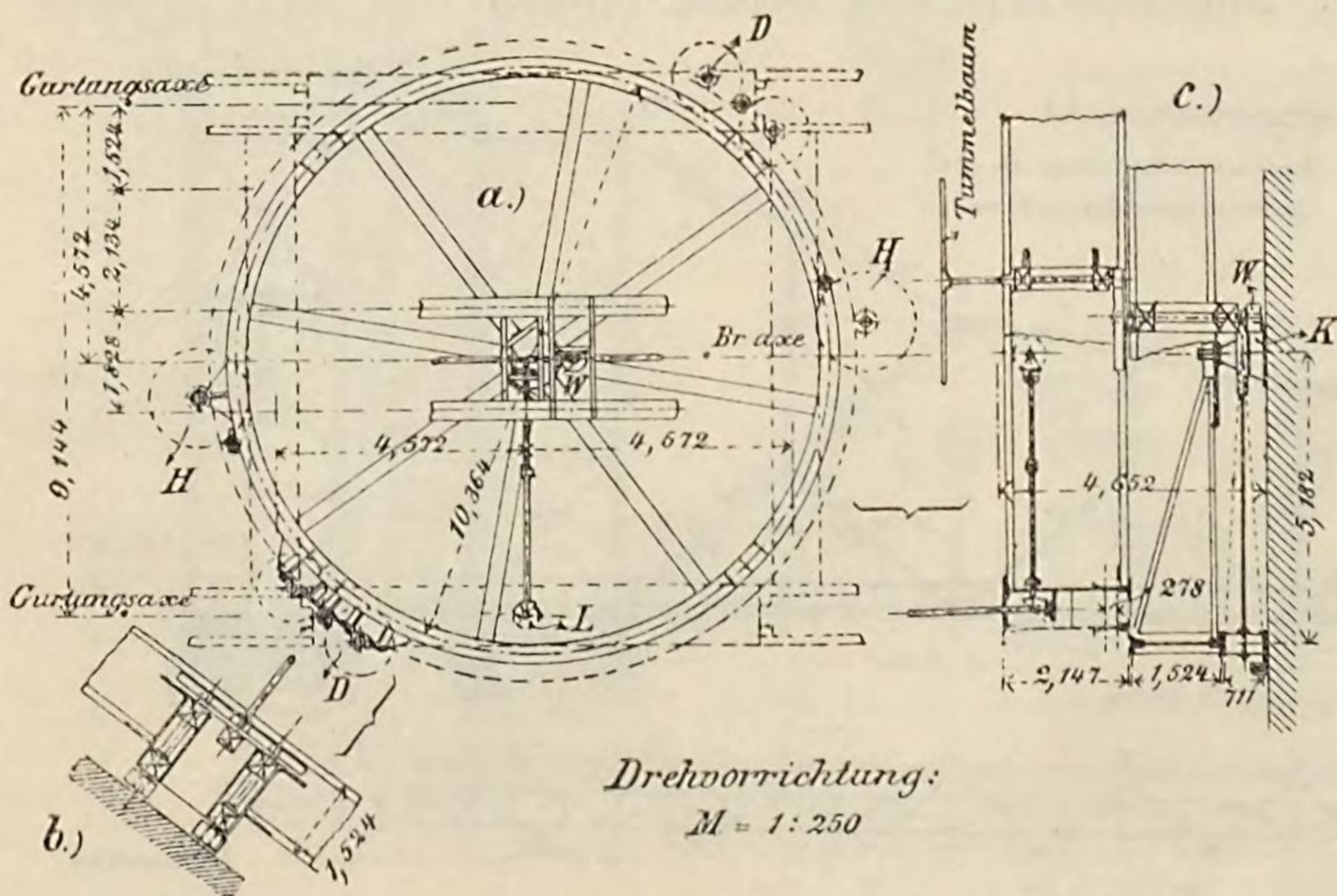


Fig. 40.



Drehbewegung. Die Dynamos übertragen durch Zahnradgetriebe (Fig. 39, U_2 und U_3) ihre Kraft auf den Ausgleich (equalizer) a , der die wagrechte Drehbewegung der Welle U_1 (Fig. 39 a u. b)

groß: 10,67 m und das 9,14 m lange Pfeilerfach ist nahezu bezüglich der Scherkräfte ein Nullfeld, da die doppelten Spannschragen desselben nur sehr kleine Kräfte aufnehmen können. Die Knotenpunkte sind nach der üblichen amerikanischen Bolzenkonstruktion durchgebildet. Die Tragkraft-Berechnung erfolgte für 490 kg/qm Belastung durch Verkehrslast, 835 kg/m Winddruck auf den Unter- und 405 kg/m auf den Obergurt, sowie Eigengewicht 11,45 t/m Brücke. Alles Material bestand aus weichem Stahl (Herdstahl), ausgenommen die mittels Schraubenspannbaren Glieder, welche aus Schmiedeeisen hergestellt wurden.

Trotz der bedeutenden Spannweite und Belastung überschreiten die in der Figur eingeschriebenen Eisenzugflächen infolge der großen Trägerhöhen nirgends die verhältnismäßig kleine Querschnittsfläche von 581 qcm.

Die Bewegung der Brücke erfolgt durch zwei 40pferdige Dynamomaschinen D (Fig. 39), die im ersten Stockwerk des Turmpfeilers aufgestellt sind und 270 Umdrehungen in der Minute machen.

mittels Winkelräder auf die beiden lotrechten Drehwellen d überträgt und so mittels der Getriebe D (Fig. 40) die Brücke in Bewegung setzt; dieselbe kann auch im Notfall durch Tummelbäume und die Getriebe H (Fig. 40 a und c) von Hand erfolgen.

Endhebung. Die Dynamomaschinen drehen mittels der Welle U_4 (Fig. 39 a u. c) und Winkelräder die lotrechte Endhubwelle (Fig. 39 c), die zwischen den Hauptträgerwänden zum Drehtisch (Fig. 40) läuft und durch Winkelräder L und Gestänge die Kraft zur Pfeileraxe und von da durch weitere Winkelhebel auf die in Brückenlängsaxe befindliche, bis zu den Brückenenden reichende wagrechte Welle überträgt. Auch diese Bewegung kann mittels Tummelbaum durch das Getriebe W (Fig. 40 a) von Hand erfolgen.

b. Die Brücke über den Themse-Fluss in Neu-London (Conn.) der Providence- und Boston-Eisenbahn [Litt. 20].

Die gleicharmige Drehöffnung dieser zweigeleisigen Bahnbrücke erreicht bezüglich der Stützweite nahezu die eben beschriebene Brücke, der sie auch in der äußeren Erscheinung sehr ähnlich ist. Ihre Hauptabmessungen sind: Gesamtlänge 153,31 m; Höhen über dem Pfeiler 21,63 m und gegen das Ende 7,62 m; Hauptträgerentfernung 8,64 m; Fachteilung 7,01, mit Ausnahme des 6,10 m-Pfeilerfaches.

Tragkraftbestimmung. Das ganze Eigengewicht wird von dem Rollenkranz über dem Drehpfeiler aufgenommen; das Pfeilerfach ist als Scherkraft-Nullfeld mit ganz schwachen Gegenschrägen ausgebildet; ferner ist die Annahme gemacht, bei der Belastung durch Verkehrslast eines Armes treffe dieselbe halb auf das Ende desselben, halb auf den Pfeiler; bei Vollbelastung $\frac{5}{8}$ derselben auf den Pfeiler und je $\frac{3}{16}$ auf die Enden; die Querschnittsbestimmung erfolgte nach den Launhardt-Weyrauch'schen ähnlichen Formeln. — Verkehrslast: 2 Lokomotiven 171 t schwer und 31,40 m lang und außerdem 4,46 t/m und Geleise.

Die Fundierung des bis zu 39 m unter Hochwasser zu gründenden Drehpfeilers erfolgte nach einer neuen Methode mittels Holzcaissons auf Pfahlrost¹⁰⁾; von den 640 Pfählen, die sich auf 453 qm verteilen, hat jeder 8–10 t zu tragen; schliesslich wurde der zweite Caisson mittels künstlicher Belastung durch Guß-Ingots mitsamt dem fertigen Mauerwerk fest auf die in genau gleicher Höhe abgesägten Pfähle getrieben. Der Überbau ist hauptsächlich aus Herdstahl, und nur die Druckglieder sind aus Bessemerstahl hergestellt. Die Drehtafel (die übliche *rim bearing turntable*) verteilt das ganze Gewicht auf 58 gußstählerne Rollen (508 mm), die aus so hartem Material sind, wie es die Dreharbeit gerade noch zulässt; auf eine Rolle treffen 22,4 t. Die Drehung selbst erfolgt durch Dampf, bezw. im Notfall durch Handbetrieb; die Dampfkessel und das ganze Triebwerk liegen unter den unteren Hauptträgergurtungen im Drehpfeiler. Die Brücke kann durchgedreht werden.

Abweichend von den üblichen Anordnungen ist die Endstütze und Hebevorrichtung der Brücke, deren Steuerung, wie auch die für die Drehung, von dem im ersten Stockwerk des Pfeilerfaches gelegenen Maschinistenhaus aus bethätigt wird. Außer der wagrechten Verriegelung gegen Wind ist auch eine lotrechte angebracht, da bei der getroffenen Anordnung des Haupttragsystems beim Einfahren eines bezw. zweier Züge gleichzeitig an dem einen Brückenende, das andere gegen Abheben durch diese Verriegelung niedergehalten werden muß.¹¹⁾ Die größte Abhebung würde 63 mm betragen. Der Anschluß der Schienen an den Brückenenden ähnelt einer gespaltenen Weichenzunge.

Die kleinste Öffnungszeit beträgt (bei Windstille) $2\frac{3}{4}$ Minuten, wovon 15 Sekunden für Schienen- und Endschraubenhebung (Entriegelung), die übrige Zeit zum Drehen benötigt wird. Für die Sicherheit der Brücke sorgt eine Signalisierungseinrichtung.

Gewichtsangaben. Eiserner Überbau des Drehfeldes 808,7 t, davon 558,4 t Hauptträger, 197,2 t Brückenbahn, 50,6 t Verspannungen und 2,5 t Endauflager. Vollständige Bewegungsvorrichtungen 141,5 t.

Beachtenswerte Einzelheiten: Der Anschluß der wagrechten Windverspannung der unteren Hauptträgergurtung erfolgt, abweichend von der üblichen Weise, symmetrisch zum Gelenkbolzen, um Nebenspannungen durch Verdrehen dieser Gurtungen zu vermeiden.

¹⁰⁾ L. Brennecke, Ergänzungen zum Grundbau. Berlin 1895. S. 64, mit Abb.

¹¹⁾ A. B. Boller, The Thames river bridge; office of the Librarian of Congress at Washington, Taf. XI (ohne Jahreszahl).

c. Brücke über den Harlem-Fluss in der 3. Avenue, New-York [Litt. 57].

Fig. 41 u. 42. Brücke über den Harlem-Fluss in der 3. Avenue, New-York.

Fig. 41.

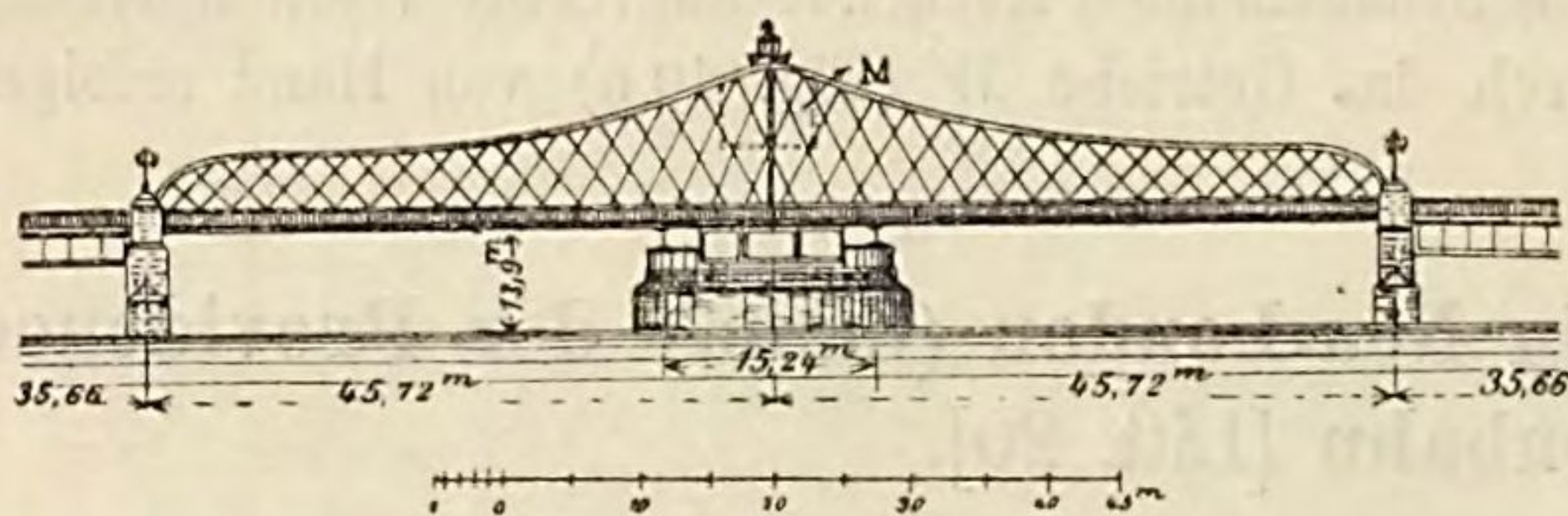
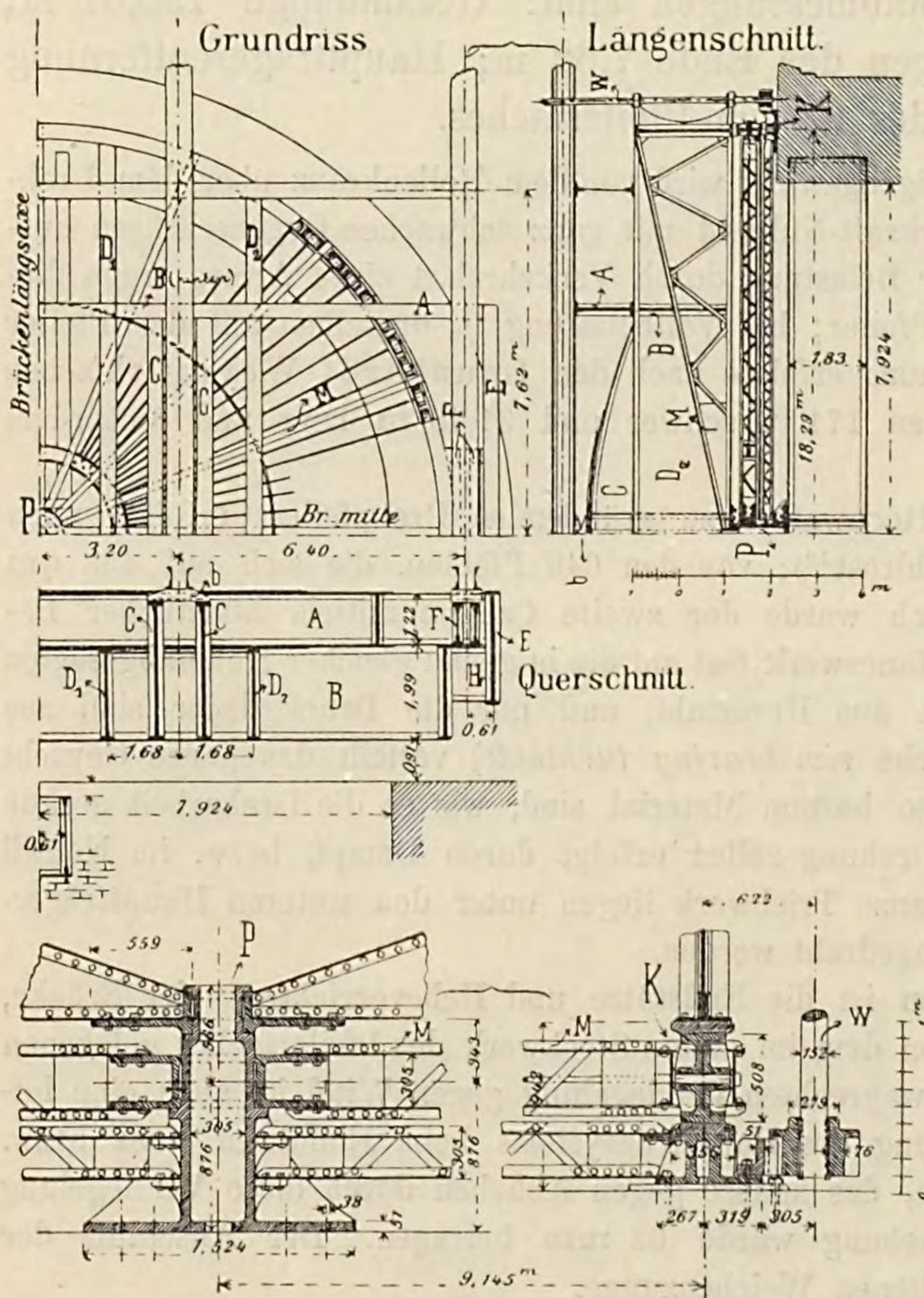


Fig. 42. Anordnung über dem Drehpfeiler.



Die Gesamtbreite der Brücke beträgt 26,21 m bei 91,44 m Länge. Zwischen den mittleren Hauptträgern verkehren 2 Dampfstraßenbahnen, zwischen den inneren Aufsenträgern Trambahnen und auf 2 Fußwegen außen auf kragarmartig angehängten Trägern die Fußgänger.

Die Fahrbahntafel ist asphaltiert, auf Buckelplatten, die Fußwege bestehen aus Fliesenpflaster. Für die Wahl der oberen Gurtungsform und das mehrfache Fachwerk waren Schönheitsrücksichten ausschlaggebend.

Die Maschinen und Kessel befinden sich im Maschinenhaus *M* (Fig. 41) über dem Pfeiler, von wo aus sowohl die Enden mittels Wasserdrucks gehoben und entriegelt, als auch die Brücke in $1\frac{1}{2}$ Minuten um 90° ausgedreht werden kann. Die Drehung selbst erfolgt in der üblichen Weise durch ein Getriebe, dessen lotrechte Welle *W* (Fig. 42) mittels Zahnrad in den auf dem Pfeiler fest verankerten Zahnkreis von 18,29 m Durchmesser greift.

Die Auflagerung der Brücke über dem Pfeiler ist aus Fig. 42 ersichtlich, die 96 Rollen (508 mm) haben das Gewicht der Brücke, 1700 t, in ausgedrehter Stellung zu tragen; in eingedrehter Stellung bilden die Hauptträger in der gewöhnlichen Art durchlaufende Träger.

Die Maschinen- und Kesselanlage ist doppelt; doch sind erstere so gekuppelt, daß sie einzeln oder gleichzeitig arbeiten können; jeder Dampfkessel liefert 60 Pferdekkräfte. Außerdem dient noch eine Dynamomaschine im Maschinenhaus zur elektrischen Beleuchtung der Brücke. — Nähere Angaben über Gewichte und Kosten fehlen.

d. Viergleisige Bahnbrücke über den Harlem-Fluss in New-York, 134. Strafe [Litt. 56].

Die gleicharmige Drehöffnung dieser Brücke ist 118,56 m lang und übersetzt den Fluss unter 45° ; in der ausgedrehten Lage ist sie durch einen 149,7 m langen und 19,2 m breiten Holzpfeiler geschützt. Die Hauptanordnung des eisernen Überbaues ist aus Fig. 43 ersichtlich. Die nutzbare Lichtweite der beiderseitigen Durchfahrtsöffnungen beträgt (wegen der Schiefe) nur je 30,48 m. Der Drehpfeiler ist mit Luftdruck bis 25,9 m unter Hochwasser gegründet und besteht aus Steinmauerwerk und Beton.

Beachtenswert ist die verschiedene Anordnung des inneren und der äußeren Hauptträger über dem Pfeiler, die bezweckt, das Brückengewicht möglichst gleichmäßig auf den aus zweimal 72 Rollen bestehenden Doppelrollenkranz (Fig. 44) zu verteilen.

Das Maschinenhaus *M* (Fig. 43) ist architektonisch verziert, enthält zwei 50pferdige Dampfmaschinen, die außer dem Drehen der Brücke auch das Endheben und Ausriegeln der Brücke bewerkstelligen; die ursprüngliche Absicht, durch Verkürzung bzw. Verlängerung des oberen Gurtungsstücks über dem Pfeiler das Heben und Senken der Brückenden zu bewerkstelligen, wurde bei der Ausführung fallen gelassen.

Die Fahrbahntafel ist aus Winkeleisen $76 \times 76 \times 9,5$ mm und Platten (lotrecht $419 \times 9,5$ mm; wagrecht 394×11 mm) trogförmig *L* (Fig. 43) zusammengebaut; es wurde durch diese derart gebildete vollständig geschlossene Decke eine sehr wirksame seitliche Absteifung der ganzen unteren Gurtung erreicht. Diese Tröge (aus Stahl) wurden jedoch nicht mit Erde oder Beton ausgefüllt, sondern die Schienen unmittelbar mittels auf die Tröge genieteter Stahlunterlagen ($200 \times 292 \times 12,7$ mm) auf die wagrechten Kopfplatten der Tröge befestigt, wobei zwischen Schienenfuß und Platte noch Kautschukplättchen liegen, um das Geräusch abzumildern und das Schienengeleise als isolierte Stromleitung benutzen zu können. Als Material wurde durchaus Herdstahl verwendet. Bei der Querschnittsbestimmung der Brücke wurde auf ein weiteres Anwachsen des Gewichtes der Betriebsmittel Bedacht genommen, wodurch sie sehr schwer geworden ist. Nähere Gewichtsangaben fehlen.

Fig. 43. Brücke über den Harlem-Fluss in New-York, 134. Strafse.

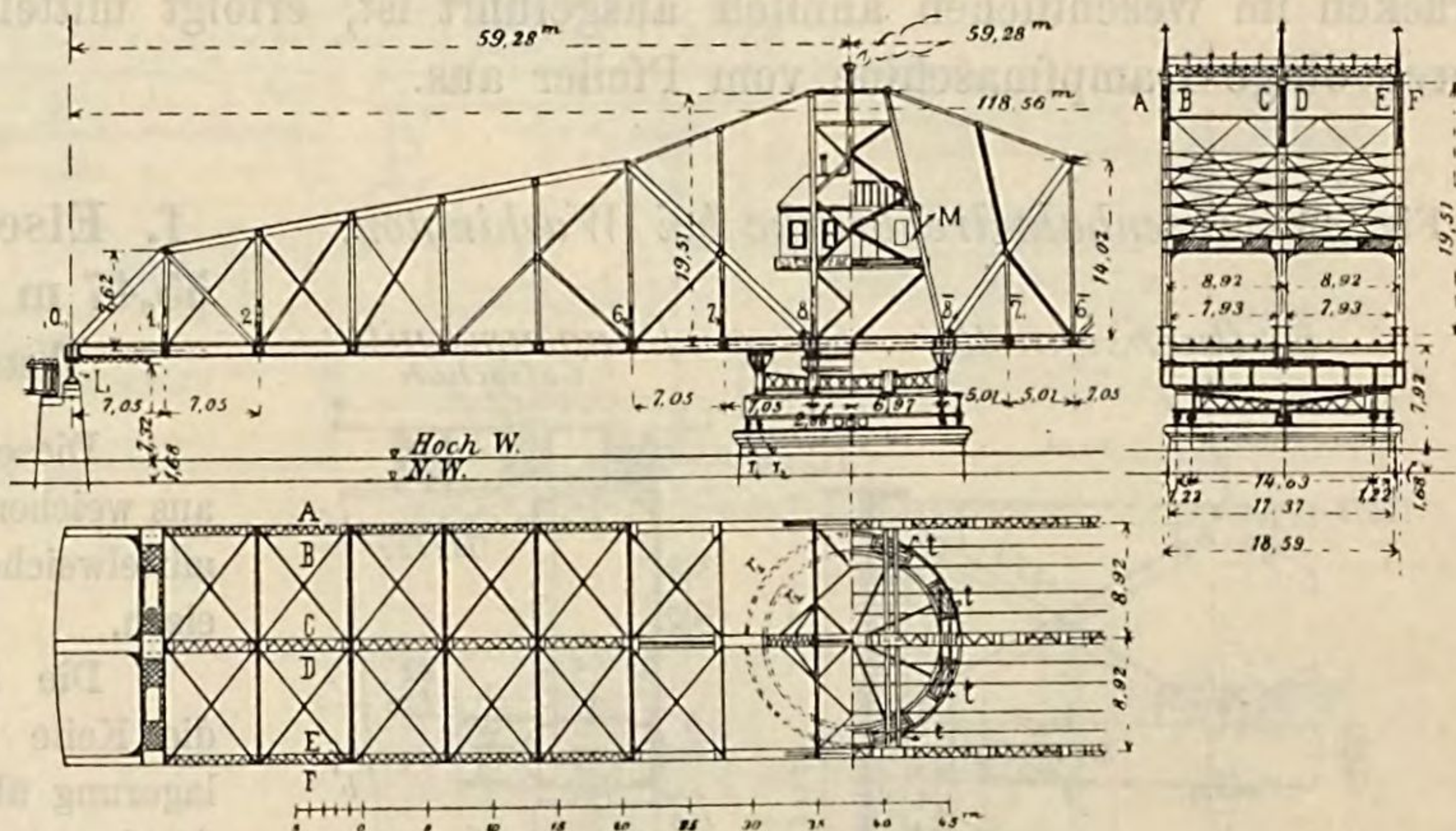
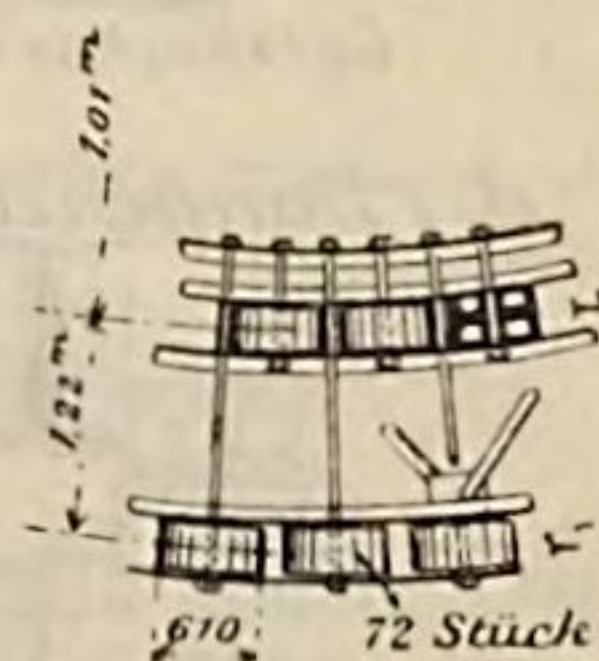


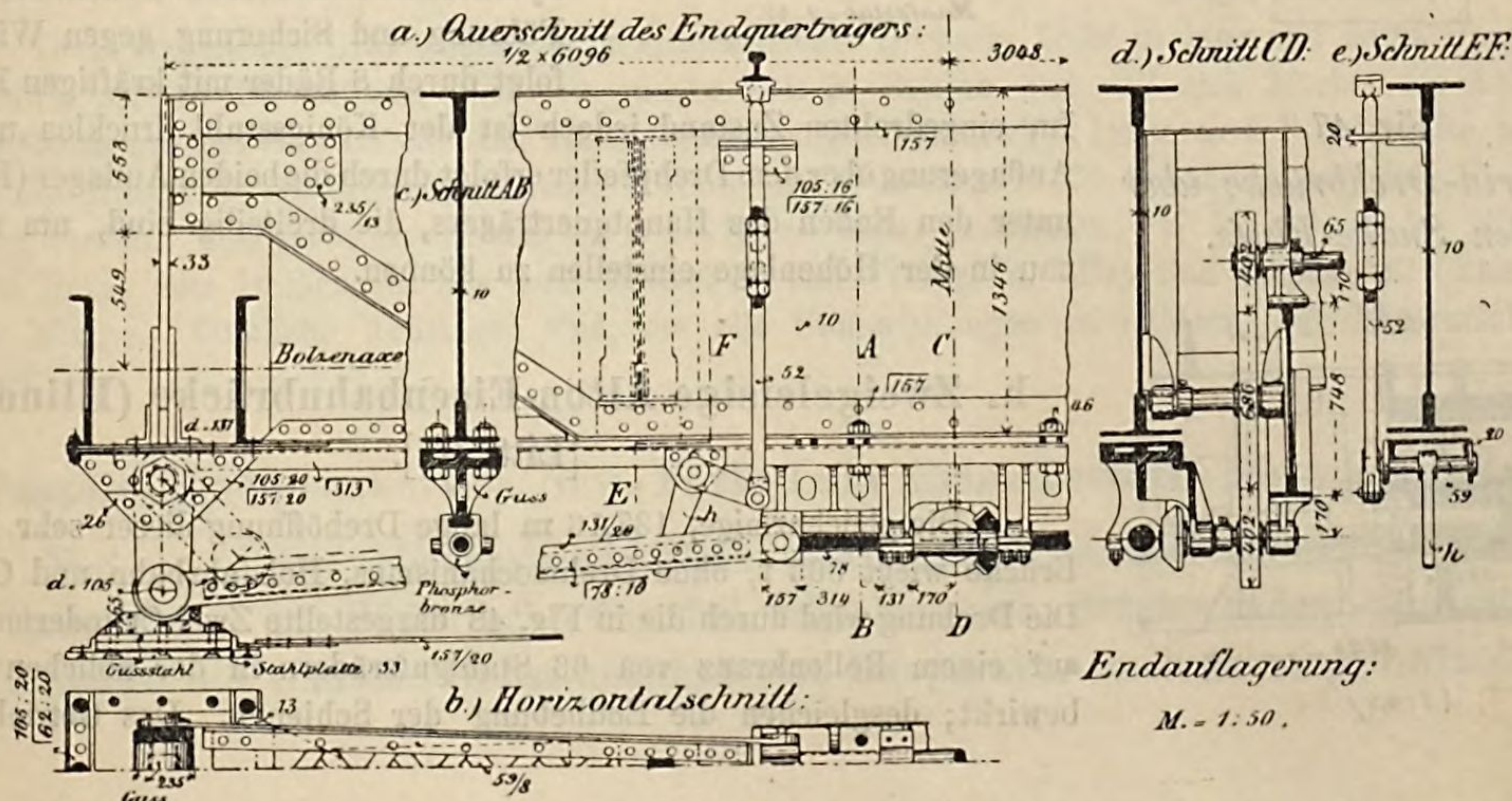
Fig. 44. Einzelheiten des Rollenkranses.



e. Winona-Bahnbrücke über den Mississippi-Strom [Litt. 34].

Die gleicharmige Drehöffnung dieser 384 m langen eingleisigen Brücke ist 134,11 m lang, 15,24 m über dem Drehpfeiler hoch ($\frac{15,24}{134,11} = \frac{1}{8,8}$) und ganz aus weichem

Fig. 45. Winona-Bahnbrücke über den Mississippi.



Stahl von 5060 kg/qcm grösster und 4500 kg/qcm kleinster Bruchfestigkeit, bei 2600 kg/qcm Elasticitätsgrenze, 22% Drehung auf 203 mm und 44% Einschnürung ausgeführt worden.

Sie ruht auf einem auf Pfahlrost gegründeten Pfeiler und wird durch eine Dampfmaschine bewegt; auch die Endhebevorrichtung der Hauptträgerauflager und der Schienen an den Brückenenden, deren Anordnung (Fig. 45) für eine große Anzahl amerikanischer Brücken im wesentlichen ähnlich ausgeführt ist, erfolgt mittels Gestänge und Getriebe durch obige Dampfmaschine vom Pfeiler aus.

Fig. 46. *Eisenbahndrehbrücke bei Washington.*

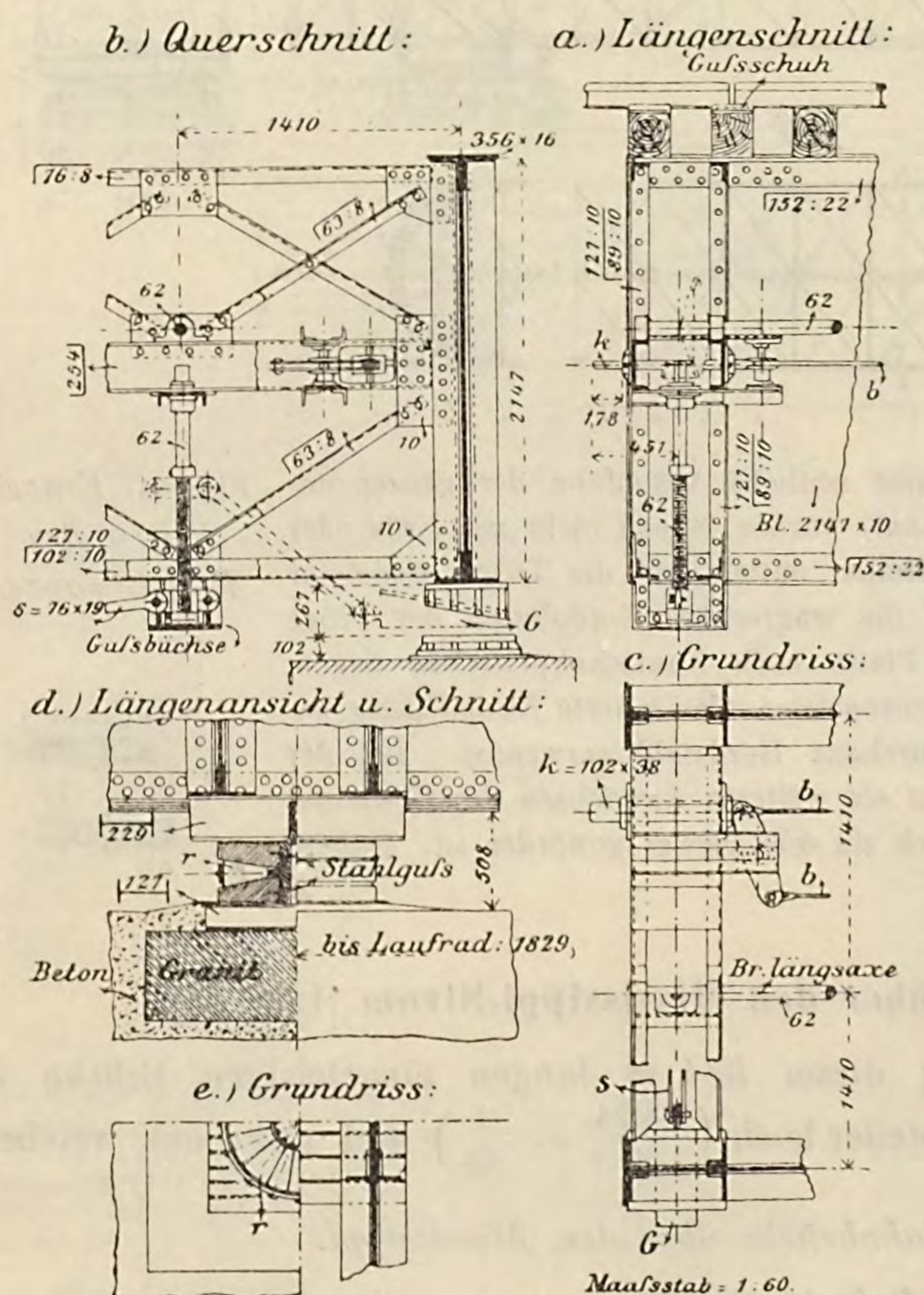
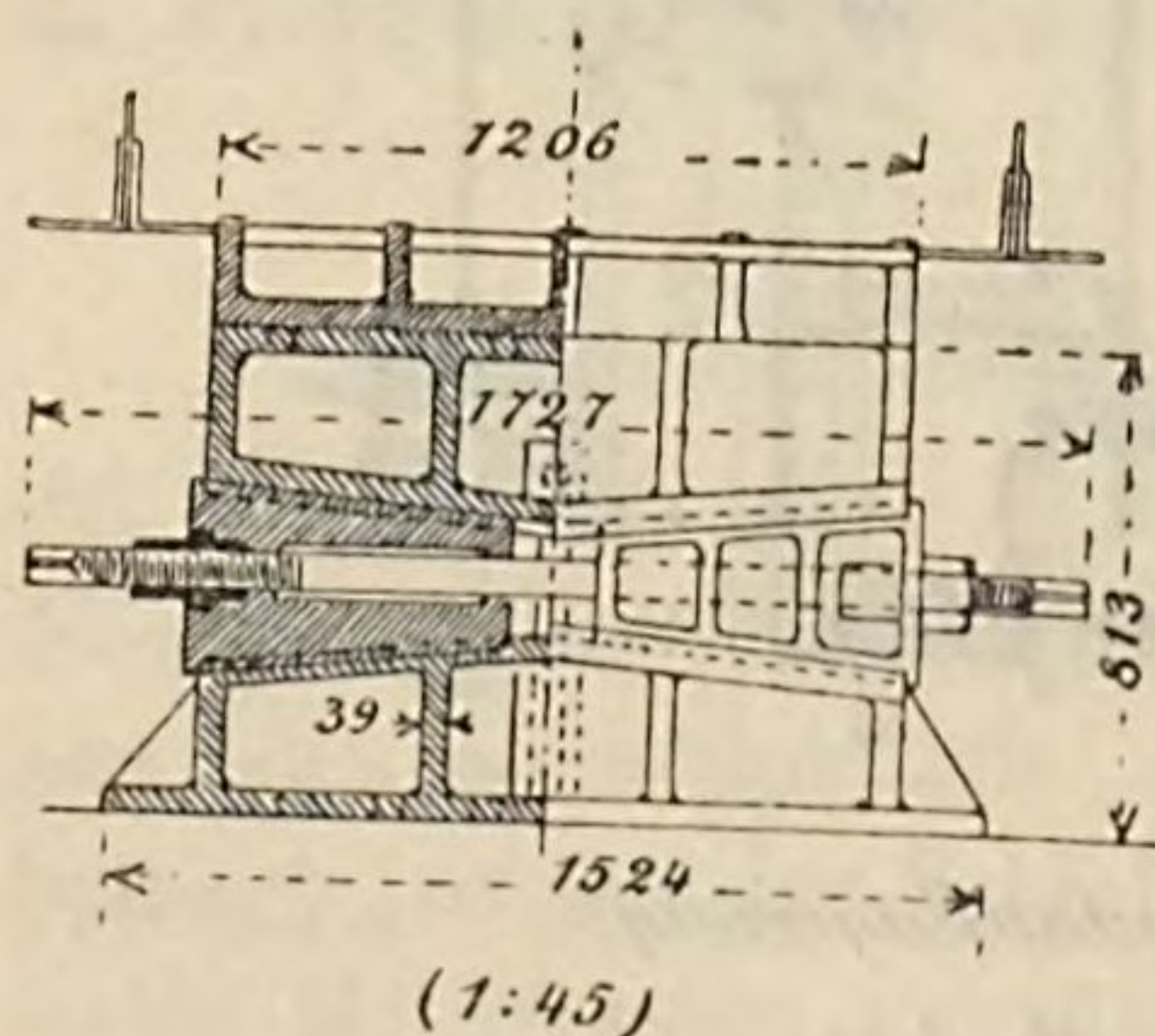


Fig. 47.
*Riparia-Drehbrücke über
den Snake-Fluss.*



f. Eisenbahndrehbrücke von
55,47 m Länge in der Nähe von
Washington [Litt. 62].

Dieselbe ist gleicharmig und ganz aus weichem Stahl, mit Ausnahme der aus mittelweichem Stahl gewalzten Winkel-eisen.

Die Endauflagerung erfolgt durch die Keile *G* (Fig. 46 *b* u. *c*) die Auflagerung über dem Pfeiler (Fig. 46 *d* u. *e*) durch 16 konische Gussstahlrollen und durch 4 Laufräder in 1,83 m Entfernung von der Drehaxe (*centre bearing turntable*), und die Verriegelung durch den wagrechten Zapfen *k* (Fig. 46 *a* u. *c*). Sämtliche Vorrichtungen geschehen von Hand von Brückenmitte aus.

g. Die Riparia-Drehbrücke über den Snake-Fluss [Litt. 37].

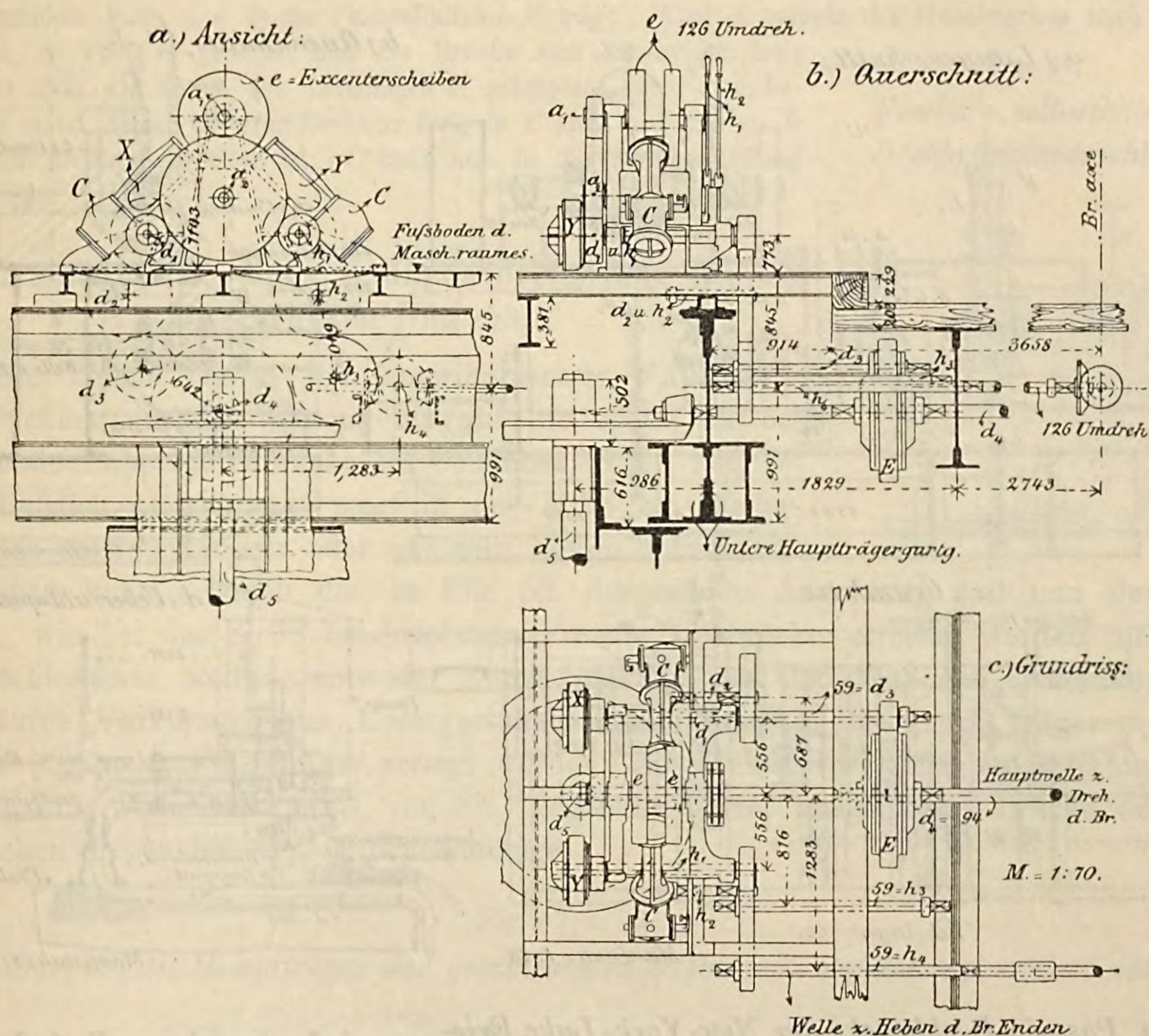
Die 107,29 m lange gleicharmige, von Morison in Chicago gebaute Drehbrücke unterscheidet sich von der in Amerika üblichen Bauweise nur durch die Auflagerung über dem Drehpfeiler. Sie ruht in ausgeschwenkter Stellung auf einem Königsstuhl (*centre bearing table*) mit hydraulisch anhebbarem Druckkolben; die Führung und Sicherung gegen Wind erfolgt durch 8 Räder mit kräftigen Federn.

Im eingedrehten Zustand jedoch ist der Königsstuhl drucklos und die Auflagerung über dem Drehpfeiler erfolgt durch die beiden Auflager (Fig. 47) unter den Enden des Hauptquerträgers, die dreiteilig sind, um sie genau in der Höhenlage einstellen zu können.

h. Zweigeleisige Alton-Eisenbahnbrücke (Illinois)

Die gleicharmige, 137,16 m lange Drehöffnung dieser sehr langen Brücke wiegt 963 t, ohne Drehmechanismus, Holzfahrbahn und Geleise. Die Drehung wird durch die in Fig. 48 dargestellte Zwei-Cylindermaschine auf einem Rollenkranz von 66 Stahlgußrädern in der üblichen Weise bewirkt; desgleichen die Endhebung der Schienen. Das Getriebe zum

Fig. 48. Alton-Eisenbahnbrücke (Illinois).



Drehen ist mit d_1 bis d_4 , das Getriebe zum Endheben mit h_1 bis h_4 bezeichnet; C sind die beiden Dampfcylinder, X und Y die Reibungsscheiben, die den Antrieb des Gestänges herbeiführen. Von den Hebeln h_1 und h_2 dient der eine zur Drehung, der andere zum Endheben der Auflager und Schienen, sowie zur Verriegelung der Brücke. Stehen diese Hebel auf mittlerer Stellung, so läuft die Maschine leer, da die Reibungsscheiben dann nicht eingreifen. Der Dampfkessel hat 3,16 qm Heizfläche; Gewichts- und Kostenangaben fehlen.

i. Eisenbahndrehbrücke in Texas mit Antrieb durch ein Pelton-Wasserrad [Litt. 65].

Diese eingleisige Drehbrücke, deren symmetrischer Dreharm 75,28 m lang und deren Hauptträgerentfernung 5,18 m ist, befindet sich seit einiger Zeit in Betrieb und soll sich hierbei die Anlage des Pelton-Rades gut bewährt haben. Bei voller Geschwindigkeit entwickelt letzteres 8 Pferdekkräfte und kann damit die Brücke in 21 Sekunden entriegelt und in 1 Minute und 50 Sekunden auf dem Rollenkranz gedreht werden. Die ganze Anordnung ist aus Fig. 49 näher ersichtlich; W bezeichnet das Wasserrad, L_1 den Hebel zum Drehen, L_2 den zum Endheben und Verriegeln. Das Rad macht 342 Umdrehungen in der Minute. Sämtliche Achslager sind, um alle Stoßwirkungen zu mildern, auf Holzzwischenklötze gelagert.

k. Passaic-Drehbrücke der New-York-Lake Erie-Western-Eisenbahn [Litt. 67].

Neu an dieser gleicharmigen Drehbrücke ist die Ausgestaltung des Obergurtes der Hauptträger im Pfeilerfach, die das Abheben der Brückenenden bezweckt, und durch welche die statische Unbestimmtheit der Hauptträger auch in eingedrehter Brücke

Fig. 49. Eisenbahndrehbrücke in Texas.

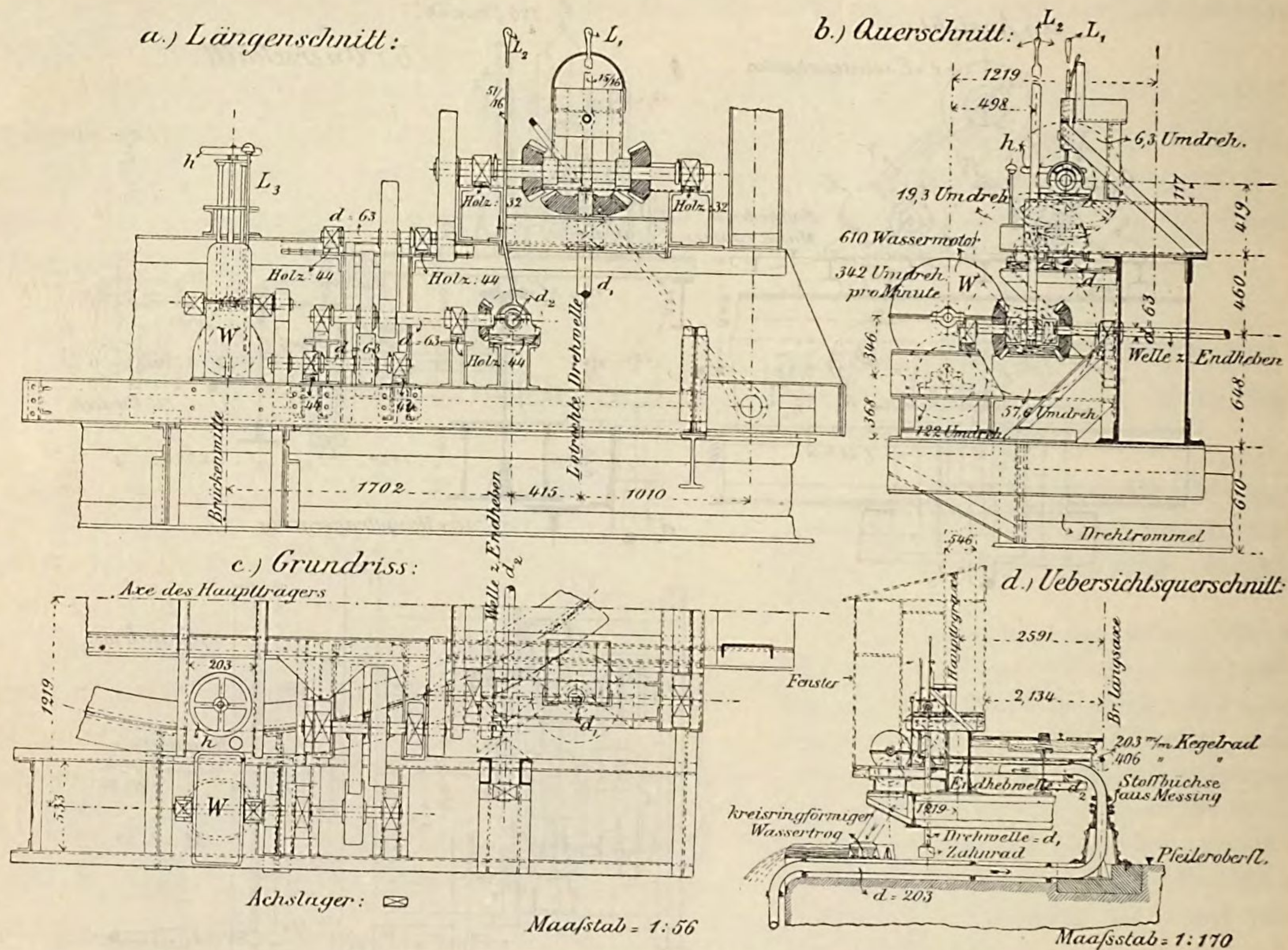
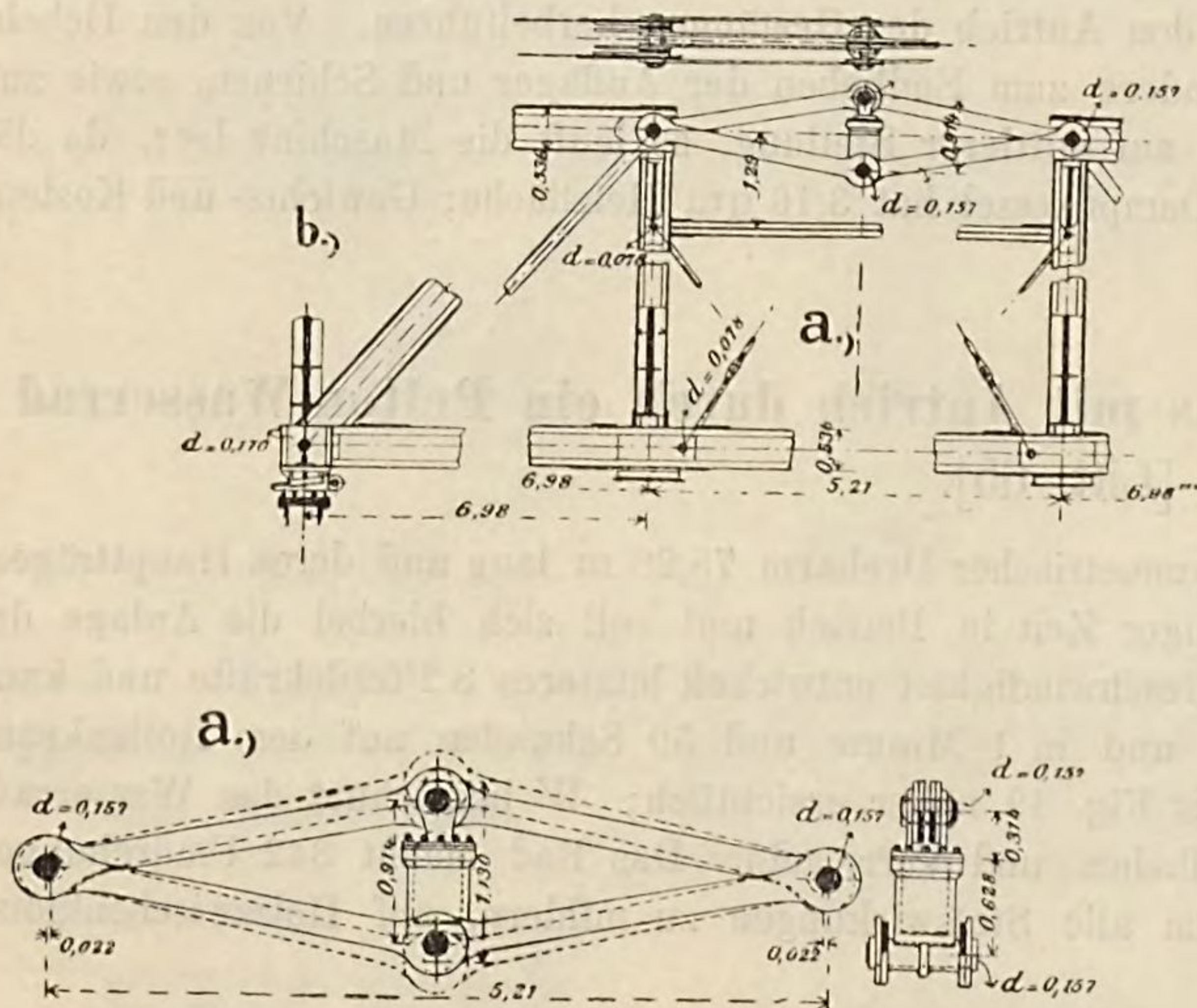


Fig. 50. Passaic-Drehbrücke der New-York-Lake Erie-Western-Eisenbahn.



vermieden werden soll, indem der Obergurt über dem Drehpfeiler bei eingedrehter Brücke spannungslos wird. Die Wirkungsweise des in der oberen Gurtung eingesetzten, mittels hydraulischer Presse bewegten Kniehebels (Fig. 50) ist ohne weiteres klar. Soll nun die Brücke ausgedreht werden, so wird durch die hydraulische Presse die obere Gurtung verkürzt, die Keilauflager aus den Brückenenden gleichzeitig gezogen und die Brücke ist frei zum Drehen. Die Brücke hat seit 1 $\frac{1}{2}$ jährigem Betrieb (bis 1893 gerechnet) zufriedenstellend gearbeitet.

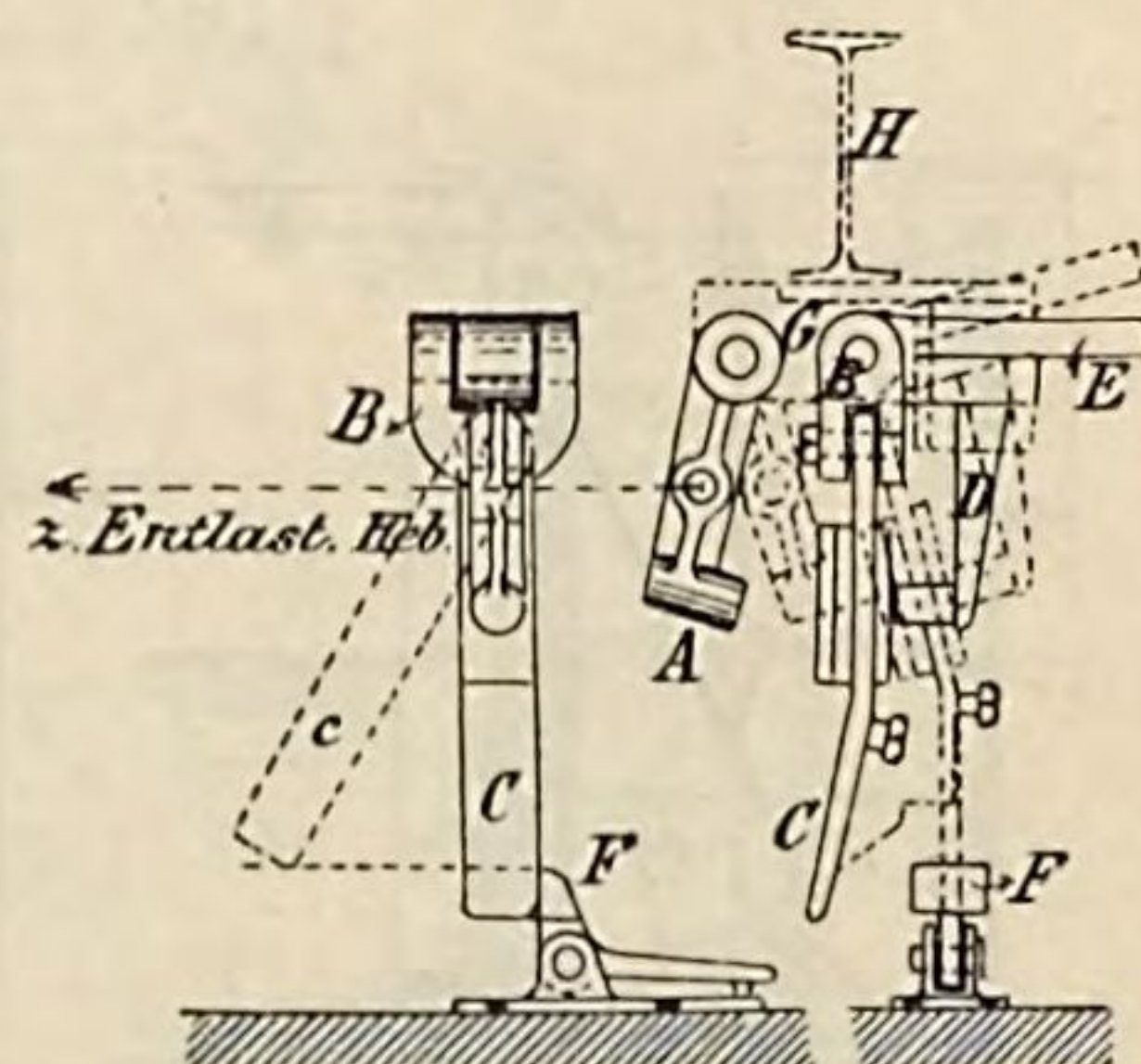
1. Ein selbstthätiger Drehbrückenverschluss [Litt. 59]

des amerikanischen Ingenieurs Fowler bezweckt, besondere Hebel zur Verriegelung oder Einklinkung der Brücken entbehrlich zu machen.

Von den drei auf dem gemeinsamen Lagerstück G , das mit dem Fahrbahnträger H fest verbunden ist, befindlichen Hebeln A , C und D ist A mit dem Triebwerk in Verbindung, während C frei nach allen Seiten pendeln kann und D die Feststellklinke E trägt. Wird A mittels des Hebelwerkes nach rechts gedrückt, so wird E gehoben und die Brücke zum Ausdrehen frei; dabei ist A in die Ebene des Anschlages F gekommen, wird aber bereits bei einer kleinen weiteren Drehung frei, da C auch um eine zu B senkrechte Drehaxe drehbar ist. C kann nun in die Anfangsstellung zurückfallen.

Fig. 51.

Fowler's selbstthätiger Drehbrückenverschluss.

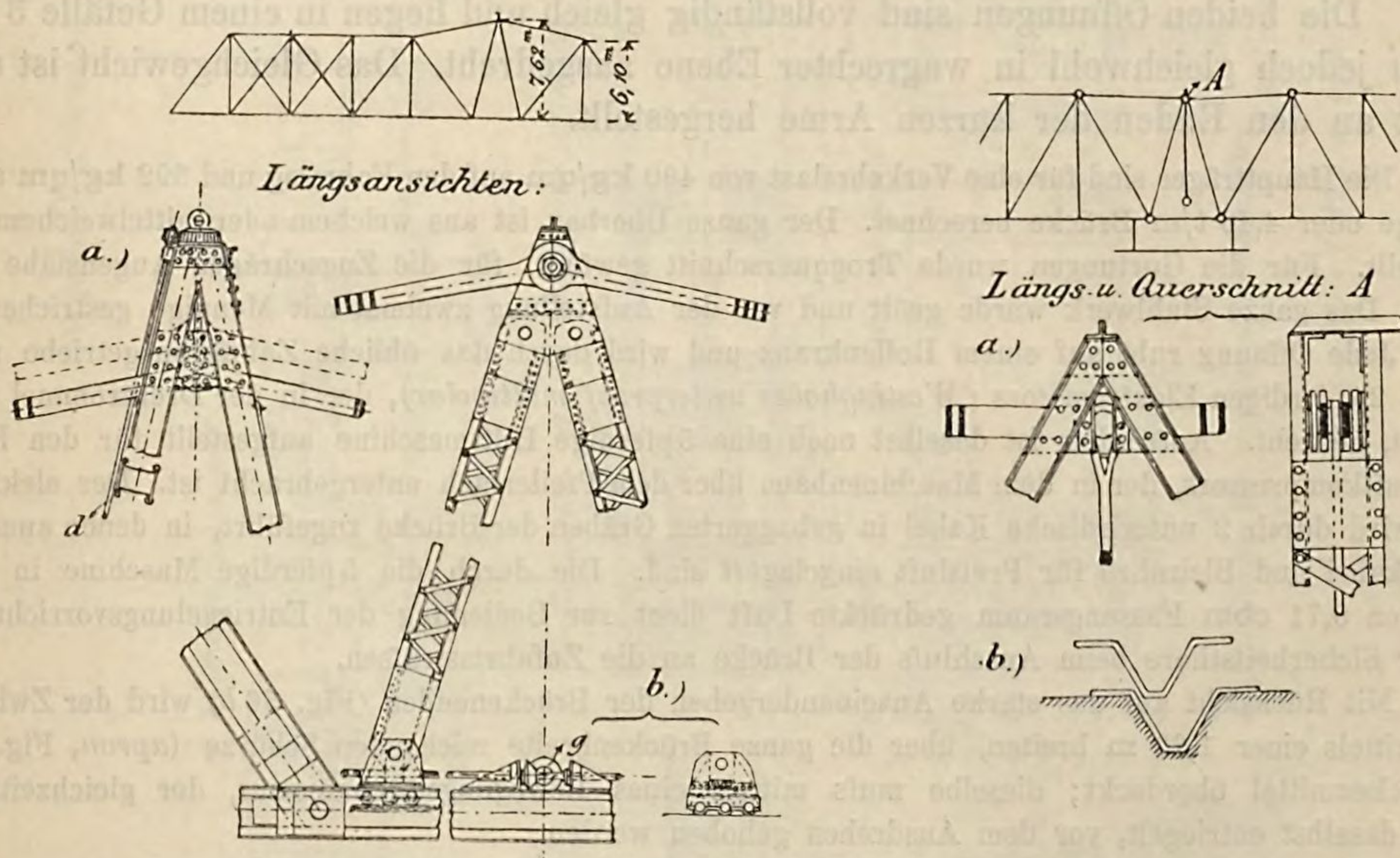


m. Entwurf zu einer Endhebevorrichtung für Drehbrücken [Litt. 53].

Die übliche Form der amerikanischen Fachwerk-Drehbrücken (unseres Wissens bis auf die später zu besprechende Doppel-Drehbrücke bei Columbus, S. 41, Fig. 55 ausschließlich gleicharmig) zeigt in der Mitte ein Pfeilerfach, das entweder keine oder nur sehr kleine Scherkräfte aufnehmen kann. Durch die in Fig. 52 dargestellte Anordnung soll nun derselbe Zweck, wie bei der S. 38 beschriebenen Passaic-Drehbrücke erreicht werden, nämlich bei geschlossener Stellung entweder durch Senkung der Obergurtungen (Anordnung a) oder durch Verkürzung der Untergurtungen (Anordnung b) der ganze Träger in zwei statisch bestimmte Einzelträger zerlegt werden. Eingehende vergleichende Berechnungen ergaben eine Materialersparnis von 8% gegenüber einer ausgeführten Brücke des gewöhnlichen Typus bei 69,2 m Brückenlänge.

Fig. 52 u. 53.

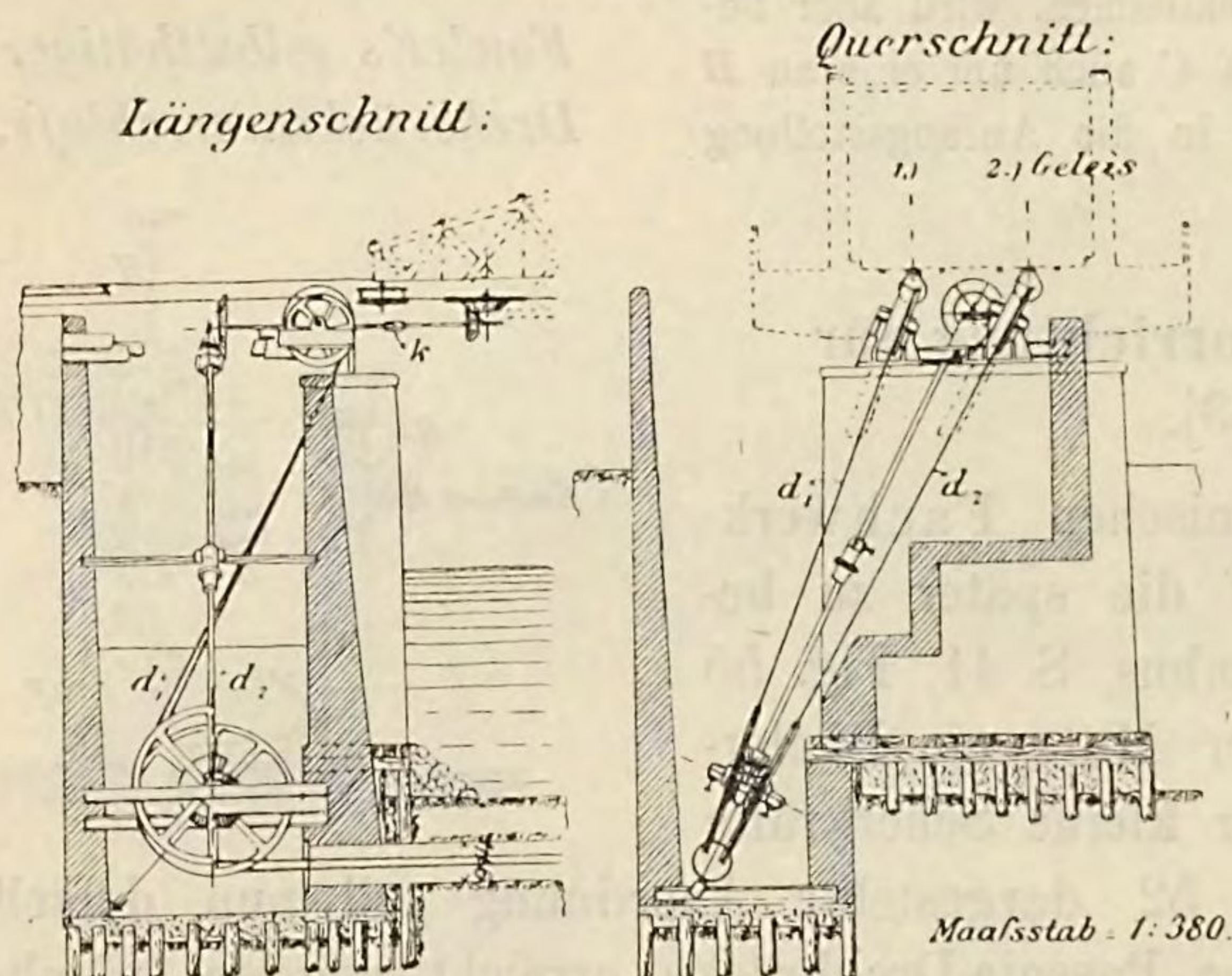
Vorschläge, um die Hauptträger der geschlossenen Drehbrücke statisch bestimmt zu machen.



Eine andere vorgeschlagene Anordnung zu demselben Zwecke zeigt Fig. 53, bei der das Anheben der Brückenenden durch Hinabziehen des lotrechten Pfostens erfolgt; beim Eindrehen und Niederlassen der Brücke erfolgt die genaue Einstellung in die Ruhelage in sehr einfacher Weise durch die in Fig. 53b dargestellte Nase, die allerdings von Schmutz und Sand freigehalten werden muß.

n. Führung einer elektrischen Straßenbahn über eine Drehbrücke [Litt. 33].

Fig. 54. Führung einer elektrischen Bahn über eine Drehbrücke.



Aus Fig. 54 ist ersichtlich, in welcher Weise bei einer älteren gleicharmigen hölzernen (Howe'sche Träger) Drehbrücke die Leitungskabel unter der Brücke mittels Eisenrohren (914 mm) durchgeführt wurden, um bei ausgedrehter Brücke die Stromleitung für den übrigen Bahnverkehr nicht zu unterbrechen; bei eingedrehter Brücke tritt die unterirdische Stromleitung außer Tätigkeit und erfolgt ein kürzerer Stromschluß durch die Reibungskuppelung (*clutch*) *k* unterhalb der Brückenfahrbahntafel.

o. Doppel-Drehbrücke bei Columbus (Cleveland) [Litt. 71].

Bei dem Entwurf dieser Straßendrehbrücke, die an Stelle einer alten Drehbrücke mit Mittelpfeiler errichtet wurde, lag die Bedingung vor, Mittelpfeiler und steile Zufahrtsrampen unbedingt zu vermeiden. Dies führte auf die in Fig. 55 *a* dargestellte Anordnung zweier ungleicharmiger Drehöffnungen von je 42,52 m Länge, bei 7,02 m Hauptträgerentfernung, wobei die Pfeiler noch ganz innerhalb der Docklinie liegen. Die beiden Öffnungen sind vollständig gleich und liegen in einem Gefälle 3:100, werden jedoch gleichwohl in wagrechter Ebene ausgedreht. Das Gleichgewicht ist durch Ballast an den Enden der kurzen Arme hergestellt.

Die Hauptträger sind für eine Verkehrslast von 490 kg/qm auf den Fahrweg und 392 kg/qm auf die Fußwege oder 4,46 t/m Brücke berechnet. Der ganze Überbau ist aus weichem oder mittelweichem Stahl hergestellt. Für die Gurtungen wurde Trogquerschnitt gewählt, für die Zugschrägen Augenstäbe angeordnet. Das ganze Stahlwerk wurde geölt und vor der Aufstellung zweimal mit Mennige gestrichen.

Jede Öffnung ruht auf einem Rollenkranz und wird durch das übliche Zahnkranzgetriebe mittels je eines 25pferdigen Elektromotors (*Westinghouse waterproof multipolar*), der in der Drehtrommel untergebracht, gedreht. Außerdem ist daselbst noch eine 5pferdige Hilfsmaschine aufgestellt für den Betrieb eines Luftkompressors, der in dem Maschinenhaus über dem Pfeilerfach untergebracht ist. Der elektrische Strom wird durch 2 unterirdische Kabel in gebaggerten Gräben der Brücke zugeführt, in denen auch noch ein Notkabel und Bleirohre für Pressluft eingelagert sind. Die durch die 5pferdige Maschine in 2 Behälter von 0,71 cbm Fassungsraum gedrückte Luft dient zur Bedienung der Entriegelungsvorrichtungen und der Sicherheitsthore beim Anschluß der Brücke an die Zufahrtsstraßen.

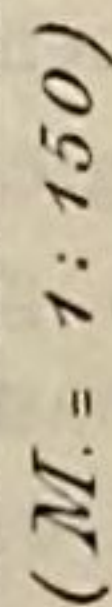
Mit Rücksicht auf das starke Auseinandergehen der Brückendenen (Fig. 56 *b*) wird der Zwischenraum mittels einer 1,63 m breiten, über die ganze Brückenbreite reichenden Schürze (*apron*, Fig. 55 *a*) im Brückenmittel überdeckt; dieselbe muß mittels eines Bewegungsmechanismus, der gleichzeitig die Brücke daselbst entriegelt, vor dem Ausdrehen gehoben werden.

Alle Bewegungen können im Notfall mittels Handbetriebes ausgeführt werden.

Der Unterbau besteht aus gemauerten Pfeilern und Widerlagern auf Pfahlrosten, deren Pfähle in 0,76 bis 0,92 m Entfernung ungefähr 8,24 m tief eingetrieben sind.

Bemerkenswert ist die Verankerung und Verriegelung der kurzen Arme in eingedrehter Stellung (Fig. 55). Die Feststellung geschieht durch Kniehebel mit kugelförmigen Endflächen (Fig. 55 *b* bis *k*) von 305 mm Halbmesser, die in kugelförmige Höhlungen von 330 mm Halbmesser eingreifen und durch das Getriebe vom Maschinenhaus aus in Bewegung gesetzt werden. Die Verankerung dieser stützenden, und

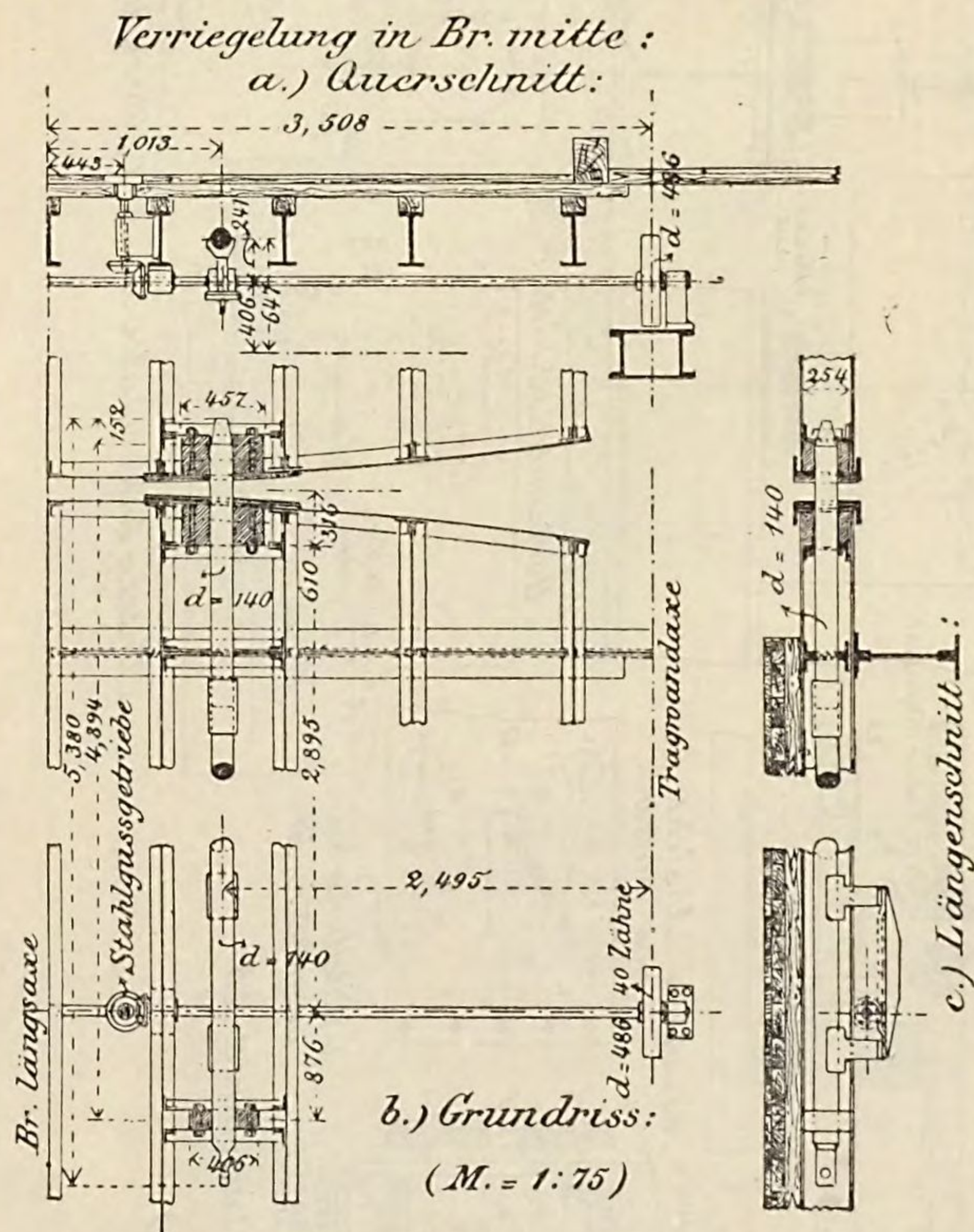
Fig. 55.



(Fig: c.) bis i.) *M.* = 1:25)

zugleich verriegelnden Kugellager ist aus Fig. 55 *b* bis *f* ohne weiteres ersichtlich; die getroffene Anordnung gestattet den Endstützen eine wagrechte Verschiebung (in Längsnuten) in Richtung der Brückenlängsaxe. Die Gewichte und Kosten stellen sich wie folgt: Eiserner Überbau 427,5 t; eiserner Überbau 193 200 M.; Unterbau 113 400 M.; elektrische und Druckluftmaschinen 21 000 M.; Wärterhäuser 2500 M.; Kabel 2100 M.; Grunderwerb 61 690 M.; Pflasterung und Zufahrten 8400 M. und Kanäle 2920 M. Seit mehreren Wochen in Betrieb (bis August 1895 gerechnet) hat die ganze Anlage zufriedenstellend gearbeitet.

Fig. 56. Doppel-Drehbrücke bei Columbus (Cleveland).



Wie sich die Verriegelung in Brückenmitte nach mehrjährigem Betrieb bewährt, muß erst die Erfahrung lehren; durch die vorsorglich groß gewählte Höhe der Hauptträger ($\frac{7,93}{42,52} = \frac{1}{5,36}$) sind allerdings die elastischen Bewegungen auf ein geringes Maß gebracht.

p. Preisbewerbung für eine bewegliche Brücke über den Duluth - Schiffkanal (Minn.)
[Litt. 44].

Auf das Preis-Ausschreiben (M. 4200) der Stadt Duluth (1891) zur Erlangung einer beweglichen Brücke liefen 20 Entwürfe ein, von denen mehrere sehr beachtens-

werte Lösungen der ziemlich schwierigen Aufgabe enthielten; es sollte nämlich über den stark befahrenen (35 Schiffe im Tag) Schifffahrtskanal (76,2 m breit) ohne Einbau in denselben eine Trambahn, 2 Geleise für elektrische Bahnen, 2 Fahrwege und 2 Fußwege geführt werden und mußte auch noch auf den hohen Grund- und Bodenwert zu beiden Seiten des Kanales Bedacht genommen werden.

Die hauptsächlichsten Entwürfe giebt Fig. 57, deren erste 4 Abbildungen Drehbrücken zeigen.

a) Entwurf Jennings. Eine Doppel-Drehbrücke aus 2 ungleicharmigen gewöhnlicher Art gebildet. Kosten 714 000 M.

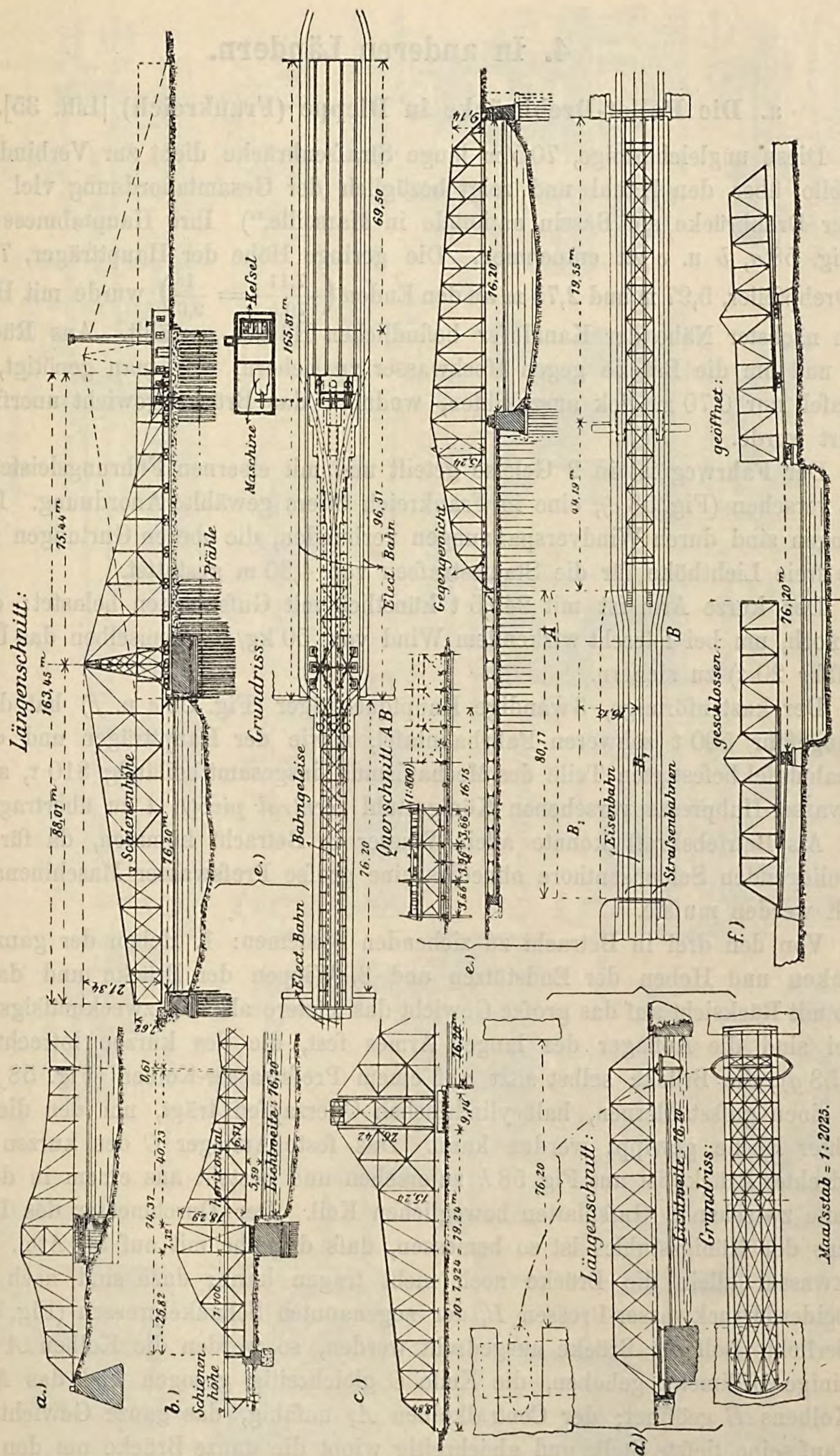
β) Entwurf Math and Sons. Der 7,32 m breite Fahrweg und die 2,13 m breiten Fußwege liegen auf der unteren Fahrbahntafel, die Trambahn auf der oberen, um Straßen- und Trambahnverkehr möglichst zu trennen. Die kurzen Arme sind mit Gegengewichten belastet und werden in eingedrehter Stellung noch künstlich niedergehalten, die langen Arme sind in derselben Stellung durch Riegel verbunden. Jede der beiden Drehöffnungen, auf dem Rollenkranz ruhend, ist mit Preßwasser-Maschinen zum Drehen und Verriegeln ausgestattet und kann von einem Mann in einer Minute ausgedreht werden. Kosten (ausschließlich der Zufahrten) 798 000 M.

γ) Der Entwurf Mc. Nicol bildet eine gleicharmige Drehbrücke aus 2 gleichen unabhängigen Kragarmen, die allein durch den Pfeilerturm an den Ober- und Untergurten wagrecht verbunden sind. Das Endheben der Brücke erfolgt durch eine Maschinerie vom Kopf des Turmes aus, der kräftig genug ist, alle Ungleichheiten der Belastung der beiden Arme auszugleichen. Die Maschinerie befindet sich im Turm. Das ganze Tragwerk ist jederzeit statisch bestimmt. Drehzeit 5 Minuten; Kosten 525 000 M. ohne Unterbau.

δ) Der Entwurf La Rue und Grovenoor zeigt die Verbindung des Dreh- mit dem Schwimmbrückensystem. Das Schiff bildet die treibende Kraft, ist hierzu mit Dampfmaschinen und Pumpen zum Heben und Senken des freien Brückenendes ausgerüstet und kommt bei ausgedrehter Brücke in die Ufer-

Fig. 57.

Entwürfe für eine bewegliche Brücke über den Duluth-Schiffkanal (Mim.)



nische. Der Propeller ist mit einer nicht näher mitgeteilten Vorrichtung ausgestattet, welche ihm auch bei Wellengang die lotrechte Stellung sichern soll. Die Zeit zum Öffnen ist auf $2\frac{1}{2}$ Minuten, die Kosten sind auf 453 600 M. angegeben. Die übrigen Entwürfe sollen bei den Rollbrücken besprochen werden.

4. In anderen Ländern.

a. Die Pollet-Drehbrücke in Dieppe (Frankreich) [Litt. 35].

Diese ungleicharmige, 70,5 m lange Straßenbrücke dient zur Verbindung zweier Stadtteile über den Kanal und zeigt bezüglich der Gesamtanordnung viel Ähnlichkeit mit der Drehbrücke am Bassin nationale in Marseille.¹²⁾ Ihre Hauptabmessungen sind aus Fig. 58 *a*, *b* u. *c* zu entnehmen. Die geringe Höhe der Hauptträger, 7,11 m über dem Drehpfeiler, 5,97 m und 2,75 m an den Enden ($\frac{7,11}{70,5} = \frac{1}{9,9}$) wurde mit Hinblick auf die in nächster Nähe der Kanalufer befindlichen Häuser gewählt. Aus Rücksicht auf diese, und um die Brücke gegen Hochwasser zu sichern, war man genötigt, die Fahrbahntafel nur 0,70 m dick auszubilden, wodurch das Brückengewicht unerfreulich vergrößert wurde.

Der Fahrweg ist in 2 Geleise geteilt und mit eisernen Führungsleisten für Fuhrwerke versehen (Fig. 58 *c*), eine in Frankreich öfters gewählte Anordnung. Die unteren Gurtungen sind durch Windverspannungen verbunden, die oberen Gurtungen nur, soweit es die freie Lichthöhe für die Staatsstraßen von 4,30 m gestattet.

Der kurze Arm ist mit 243,5 t künstlich mit Gußblöcken belastet; dies genügt auch noch, um bei lotrecht wirkendem Wind von 50 kg/qm demselben das Übergewicht (ungefähr 20 t) zu sichern.

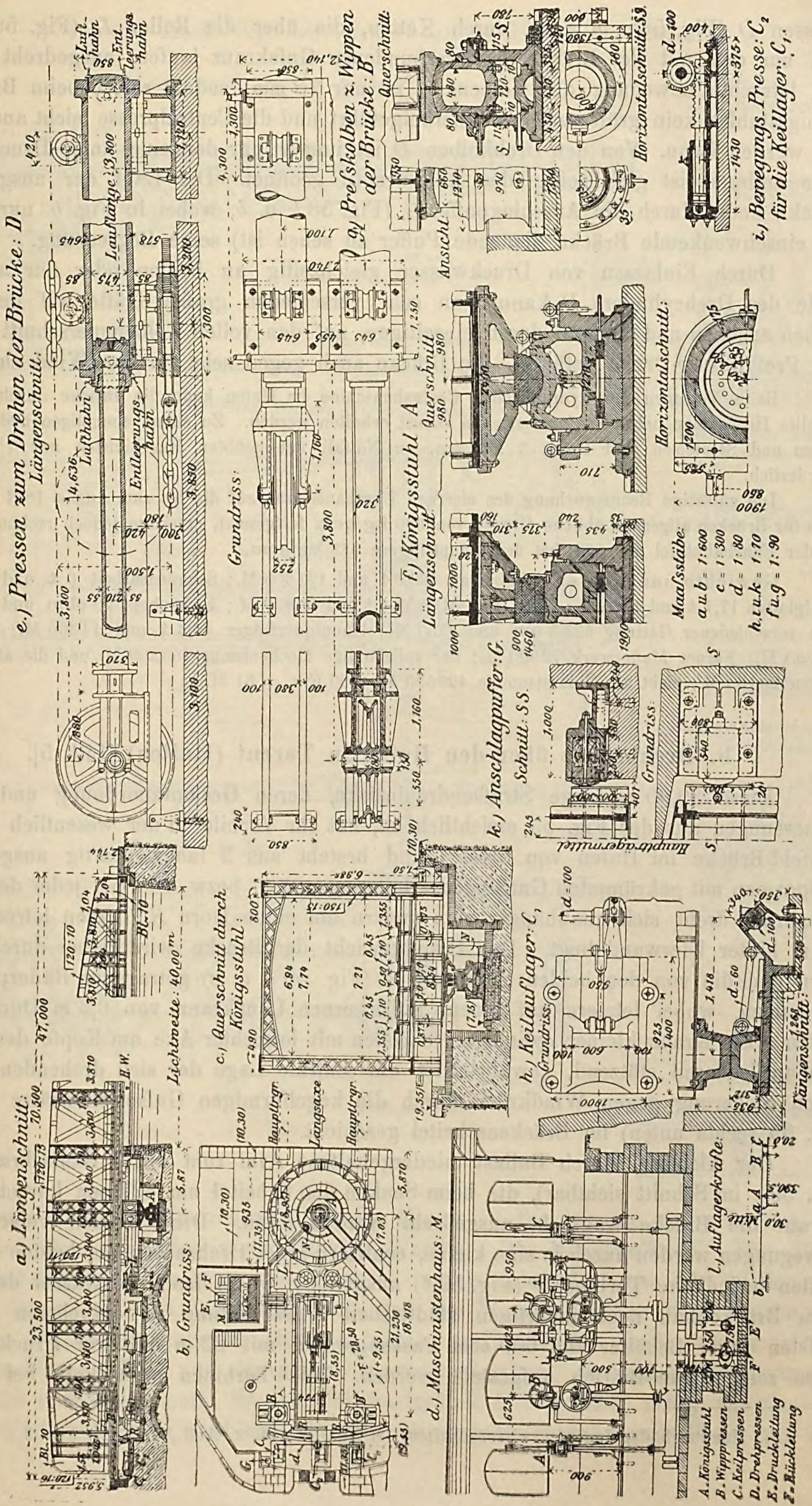
Der kastenförmige, 3wandige Hauptquerträger (Fig. 58 *c* u. *f*) hat das Gewicht der ungefähr 500 t schweren Fahrbahntafel, sowie der Hauptträger und der an der Fahrbahntafel befestigten Teile des Mechanismus, insgesamt beiläufig 810 t, auf den mit Prefswasser-Hubpresse versehenen Königsstuhl (*central pivot*) *A* zu übertragen.

Als Betriebskraft konnte allein Wasser in Betracht kommen, da für Bedienung der anliegenden Schleusenthore ohnedies eine große Prefswasser-Maschinenanlage hergestellt werden mußte.

Von den drei in Betracht zu ziehenden Systemen: 1. Heben der ganzen Brücke, 2. Senken und Heben der Endstützen und 3. Wippen der Brücke und dann Drehen wurde mit Rücksicht auf das große Gewicht das letztere als das zweckmäßigste gewählt; hierbei sind die Auflager des langen Armes fest, die des kurzen lotrecht beweglich (Fig. 58 *g*); die Brücke selbst sitzt auf einem Prefswasser-Kolben (Fig. 58 *f*), der am Kopf einen gußstählernen, halbcylindrischen Querzapfen trägt, um den die Brücke in lotrechter Ebene gewippt werden kann. Das feste Auflager *C* des kurzen Armes bei eingedrehter Brücke ist aus Fig. 58 *h* zu ersehen und besteht aus einem in der Brückenlängsaxe zwischen 2 Gußplatten beweglichen Keil. Der Durchmesser des Prefswasser-Kolbens des Königsstuhles ist so bemessen, daß derselbe mit auf 50 Atm. gespanntem Druckwasser allein die Brücke noch nicht tragen kann; dazu sind noch die Kolben der beiden Druckwasser-Pressen *B*, der sogenannten Schaukelpressen (Fig. 58 *a*, *b* u. *g*) erforderlich. Soll die Brücke ausgedreht werden, so werden die Kolben *A* und *B* um nur einige Millimeter gehoben, die Keile *C* gleichzeitig gezogen und das Auslaßventil des Kolbens *B* geöffnet; der Centralkolben *A*, unfähig, das ganze Gewicht zu tragen, sinkt auf seine tiefste Stelle und gleichzeitig wippt die ganze Brücke um den Querzapfen des Centralkolbens *A*, da das Druckwasser unter dem Wippkolben *B* entweichen kann, infolge des Ballastes des kurzen Armes nach hinten. Die Brücke kann nun mittels der

¹²⁾ Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. 2. Aufl., Taf. III, Fig. 15^a.

Pollet-Drehbrücke in Dieppe (Frankreich).



Pressen D (Fig. 58 a , b u. c), durch Ketten, die über die Rollen L (Fig. 58 a u. b) und um den mit der Brücke fest verbundenen Gußkranz laufen, ausgedreht werden. Die lotrechte Bewegung des Kolbens A ist nur 15 mm, sodaß selbst beim Bruch des Königsstuhles kein größerer Unfall herbeigeführt und die Centralpresse leicht ausgewechselt werden kann. Von den Drehkolben D ist immer nur der eine unter Druckwasser, beim anderen ist gleichzeitig das Ablassventil geöffnet. Der Lauf der ausgedrehten Brücke findet durch die Anschlagpuffer G (Fig. 58 k u. b , wobei in Fig. b nur der für die einschwenkende Brücke dienende Puffer zu sehen ist) seine Begrenzung.

Durch Einlassen von Druckwasser gleichzeitig an beiden oder nur an einem Ende des Drehcylinders D kann man sehr verschieden große Kräfte auf den Drehkolben ausüben und ist man durch einseitigen, auf den vollen Kolbenquerschnitt wirkenden Presswasser-Druck befähigt, die Brücke auch gegen sehr starken Wind zu drehen.

Beim Versagen der hydraulischen Centralmaschine im Hafen kann die Brücke durch eine aufgestellte Hilfspumpe nebst Kraftsammeler im Dienst erhalten werden. Zu einem einmaligen hydraulischen Öffnen und Schließen sind 2 bis 3 Minuten, im Notfall mit geübten Maschinisten nur $1\frac{1}{2}$ Minute erforderlich.

Die zulässige Beanspruchung des eisernen Überbaues war auf die bis zum August 1891 in Frankreich für Brücken allgemein übliche Grenze von 600 kg/qcm festgesetzt, erreichte jedoch rechnungsgemäß bei der Fahrbahntafel nur 568, bei den Hauptträgern 583 kg/qcm.

Gewichte und Kosten. Walzeisen 422,8 t und 121600 M.; Schmiedearbeit 6 t und 2680 M.; Stahlplatten 17,1 t und 8220 M.; Guß (Ballast) 233,4 t und 26850 M.; Eichenholz 20 cbm und 2950 M.; Holz verschiedener Gattung 633,3 qm und 4730 M.; Hauptquerträger 40,3 t und 14360 M.; zusammen 181390 M. Ferner Mauerwerk 72900 M.; der vollständige Mechanismus 155200 M. und die allgemeinen Kosten 20100 M., giebt als Gesamtsumme 429590 M. (100 Frs. = 81 M.).

b. Drehbrücke über den Hafen in Tarent (Italien) [Litt. 5].

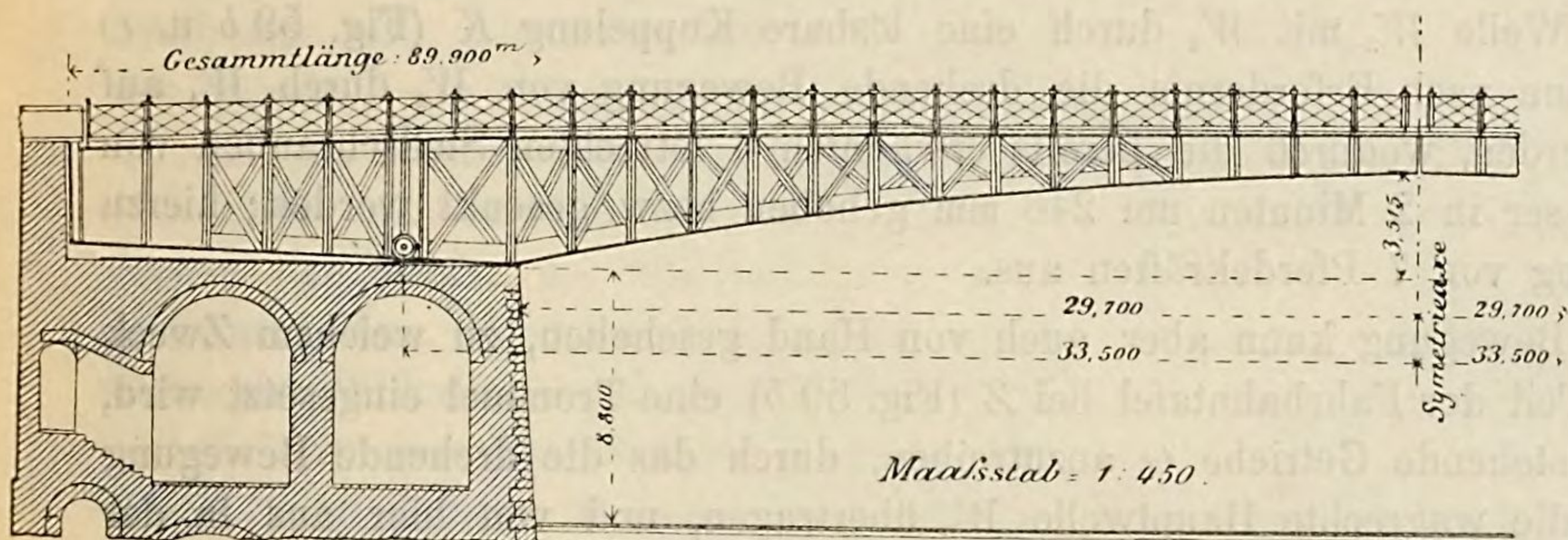
Diese 89,90 m lange Straßendrehbrücke, deren Gesamtanordnung und Hauptabmessungen aus der Fig. 59 ersichtlich ist, hat ihr Vorbild in der wesentlich längeren Penfeld-Brücke im Hafen von Brest¹³⁾ und besteht aus 2 fachwerkartig ausgebildeten Kragarmen mit gekrümmten Gurtungen (Halbmesser 989, bzw. 160 m); jeder der beiden Kragarme dreht sich unabhängig vom andern um einen Dorn S , dessen lotrechte Axe 3,8 m hinter Uferwand liegt. Das Hauptgewicht der Brücke wird dabei durch diesen Dorn und die von den beiden Stahllaxen A (Fig. 59 a u. c) getragenen Räderpaar aufgenommen, wobei letztere auf einem gußeisernen Laufkranz von 6,3 m Durchmesser laufen. Ein Kranz kleiner cylindrischer Rollen mit lotrechter Axe am Kopfe des Dornes, sich an letzteren stützend, gewährleistet die centrale Lage der sich drehenden Brücke, deren Sicherung gegen Windkräfte durch die kegelförmigen Gußeisenansätze L (siehe Fig. 59 rechts unten) im Brückenscheitel geschieht.

Der kleinere, durch Ballast niedergehaltene Arm ruht auf 4 Stellschrauben (in Fig. 59 c im Schnitt sichtbar), die beim Senken den Scheitel um 827 mm lotrecht heben, worauf die Brücke wagrecht ausgedreht werden kann. Diese beiden verschiedenen Bewegungen werden durch je eine kleine, centrisc unter Drehzapfen der beiden Brückenhälften befindliche Turbine T (Fig. 59 b) ausgeführt, wobei das Druckwasser der neuen, beim Brückenbau noch unfertigen städtischen Wasserleitung zu entnehmen ist. Es mußten daher Behälter von 600 cbm Fassungsraum mit 22 m mittlerer Druckhöhe für einen zeitweiligen Betrieb aufgestellt werden. Die Turbinen entwickeln bei 950 mm

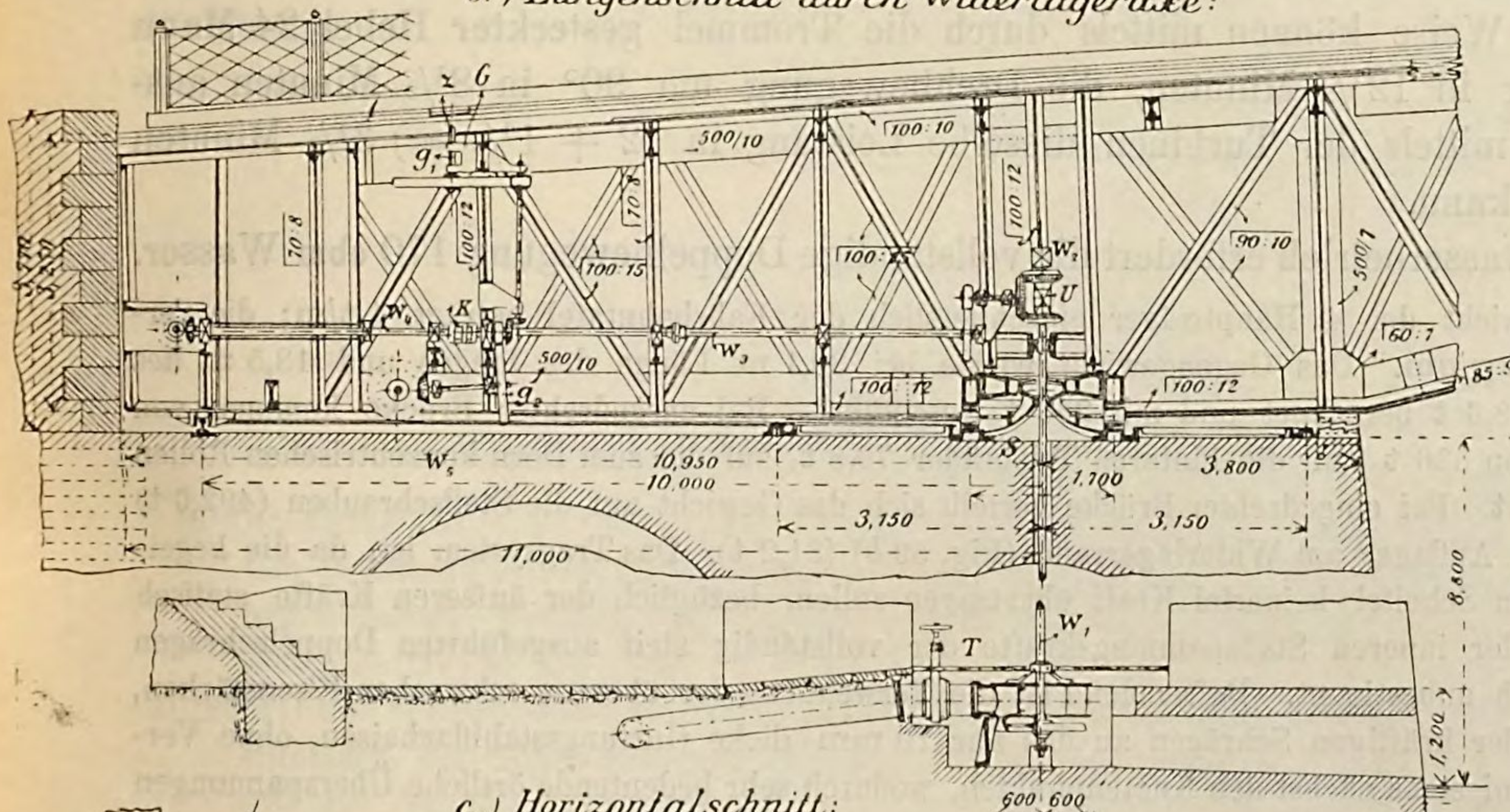
¹³⁾ Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. 2. Aufl., Taf. III, Fig. 2.

Fig. 59. Drehbrücke über den Hafen zu Tarent (Italien).

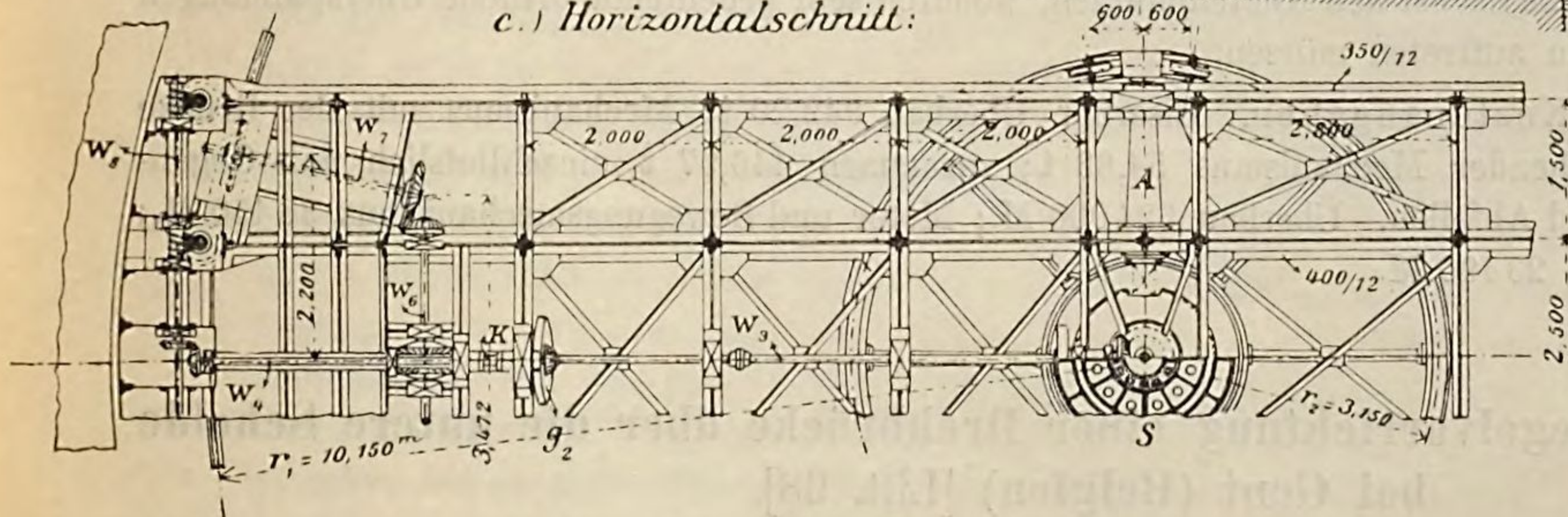
a.) Längenschnitt der Br.hälfte:



b.) Längenschnitt durch Widerlageraxe:



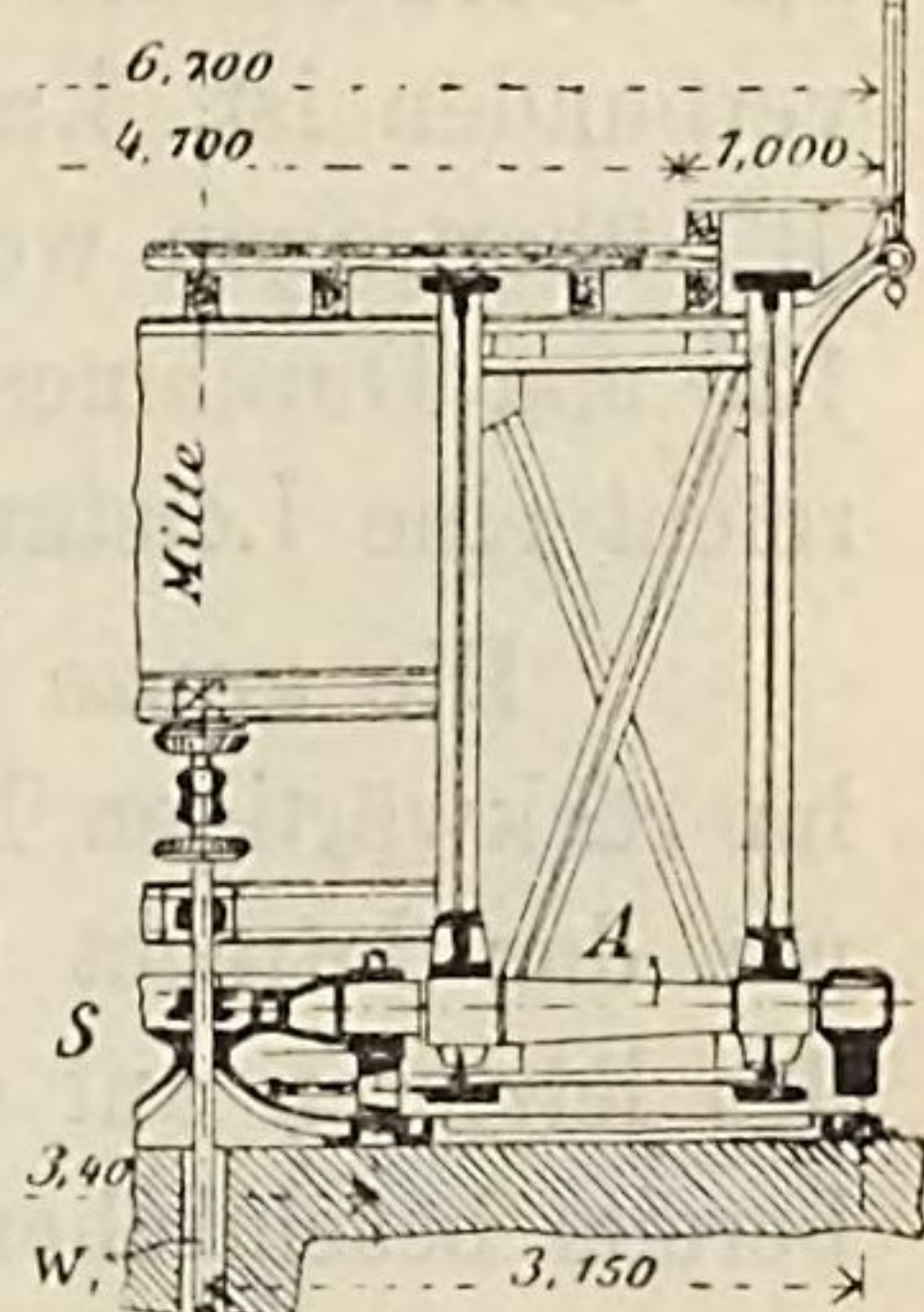
c.) Horizontalschnitt:



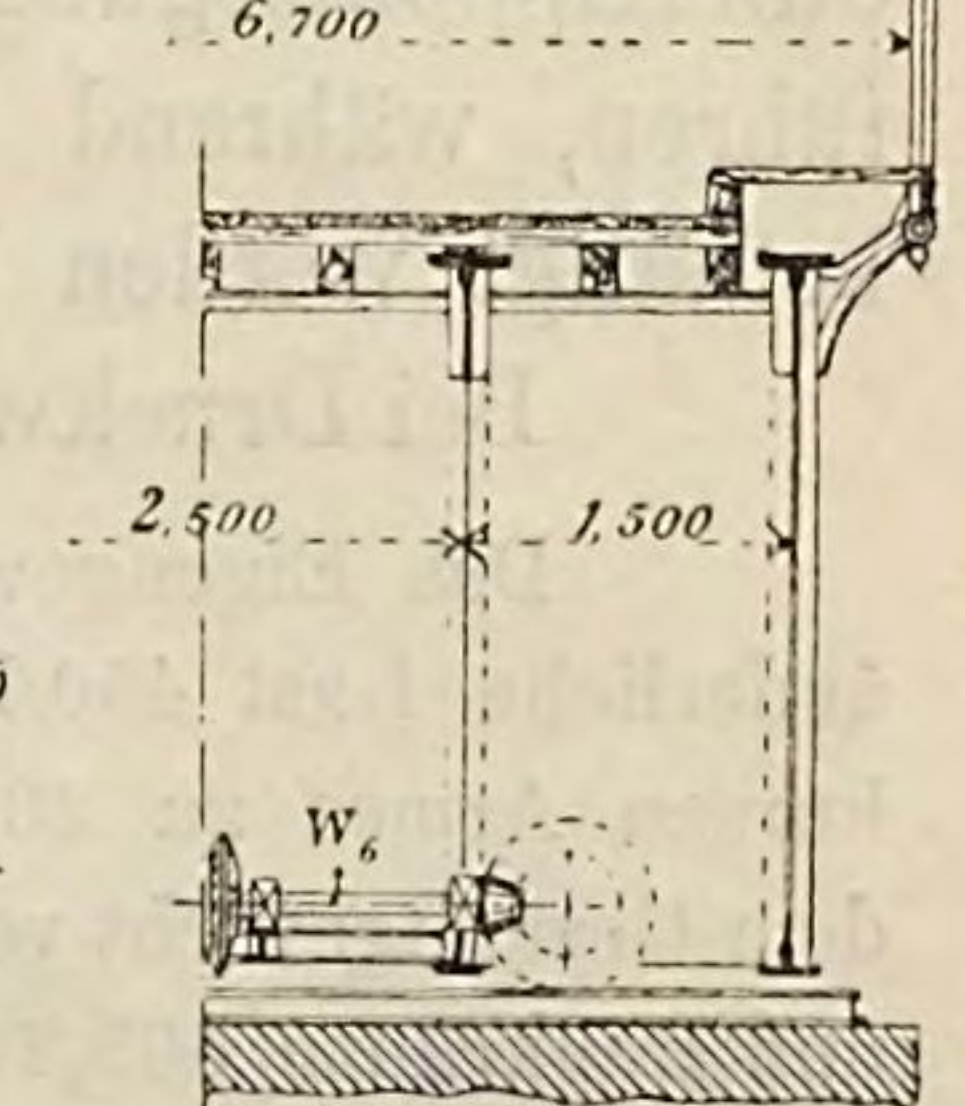
Maassstab = 1:150.

Achslager:

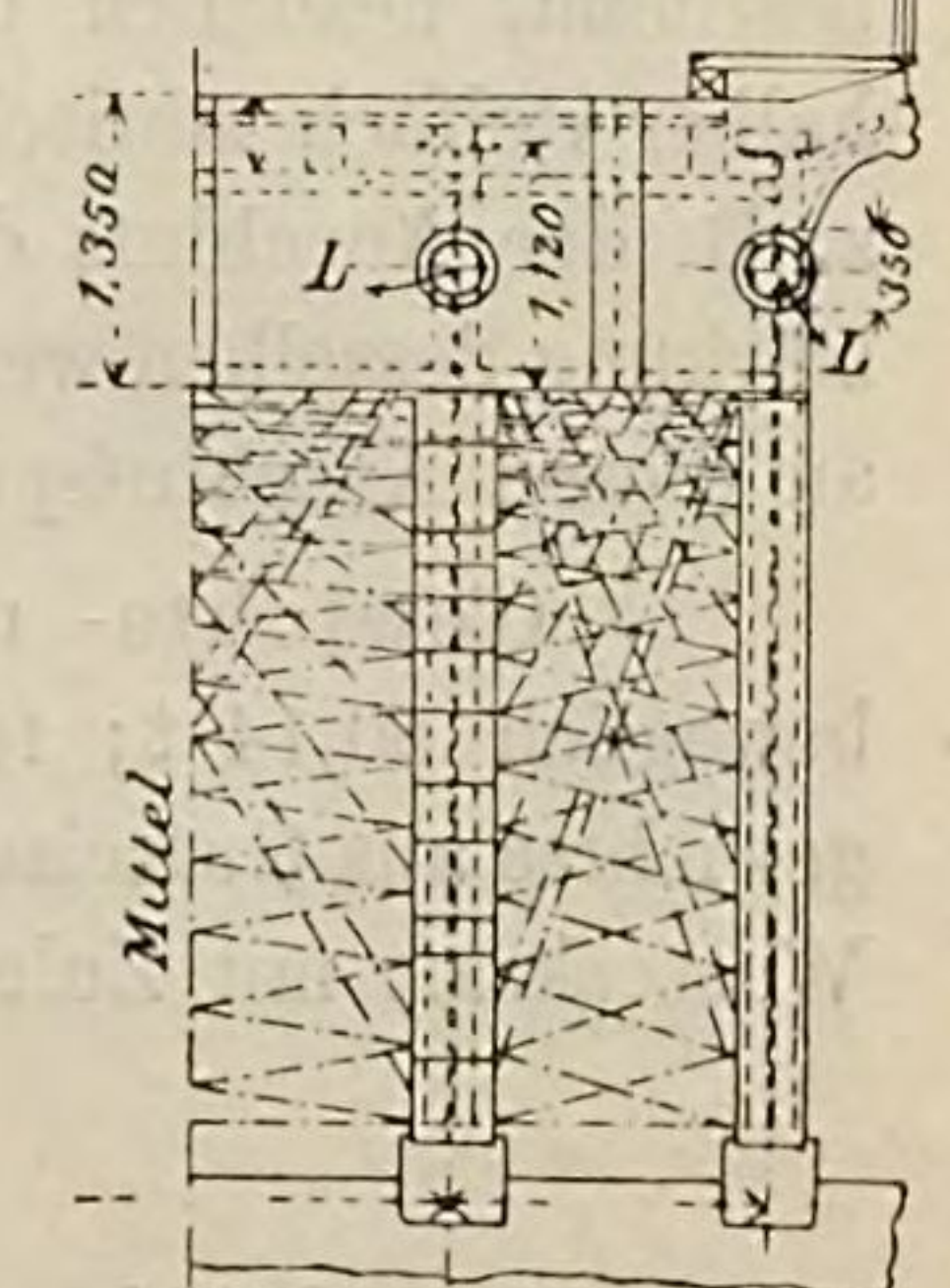
Querschnitt durch den Königsstuhl:



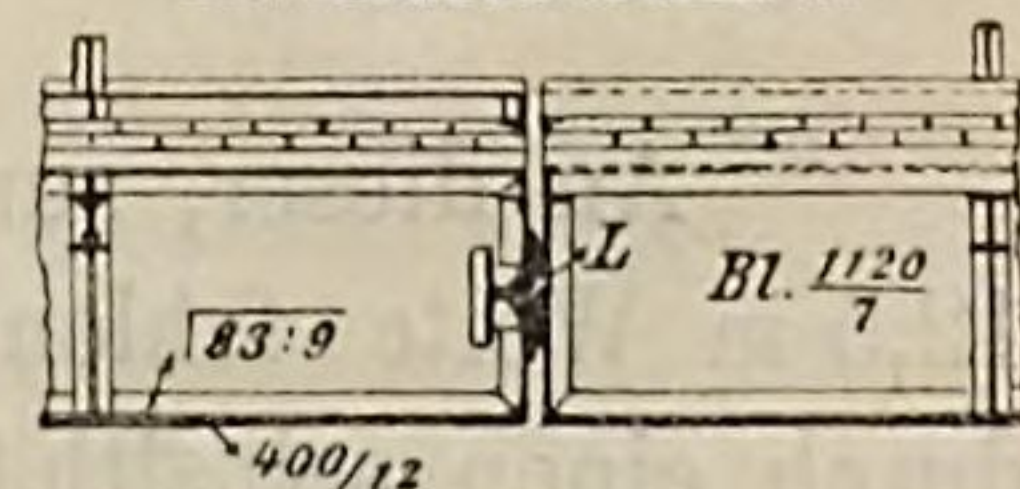
Querschnitt bei den Stellschrauben:



Querschnitt durch den Br.scheitel:



Längenschnitt durch Scheitelschluss:



Durchmesser und 240 Umdrehungen in der Minute 14 Pferdekkräfte und erfordern für einmaliges Öffnen und Schließen 150 cbm Wasser. Die Hauptwelle W_1 (Fig. 59 b) durchdringt centrisch den Dorn und überträgt mittels Zahnradgetriebe und Wellen die drehende Bewegung nach rückwärts derart, daß die Wellen W_7 (Fig. 59 c), welche die Triebräder für die Drehung der Brücke tragen, nur mehr $2\frac{1}{2}$ Umdrehungen in der Minute ausführen. Weil nun das ganze wagrechte Gestänge die kleine Kippbewegung der Brücke mitmachen muß, ist das Universalgelenk U (Fig. 59 b) nötig, um eine bewegliche Verbindung der Turbinenwelle W_1 mit dem Gestänge herzustellen. Auf der

Welle W_2 sitzen 2 ganz gleiche Kegelhäder, durch deren Heben oder Senken die Verbindung der Welle W_2 mit dem Wellensystem W_3 bis W_7 hergestellt, und damit zugleich die Brücke nach der einen oder anderen Richtung in Drehung versetzt wird. Da überdies die Welle W_3 mit W_4 durch eine lösbare Kuppelung K (Fig. 59 *b* u. *c*) verbunden ist, kann nach Erfordernis die drehende Bewegung von W_1 durch W_4 auf W_8 übertragen werden, wodurch die bereits erwähnten 4 lotrechten Stellschrauben von 125 mm Durchmesser in 2 Minuten um 246 mm gehoben bzw. gesenkt werden; hierzu reicht eine Leistung von 7 Pferdekraften aus.

Die ganze Bewegung kann aber auch von Hand geschehen, zu welchem Zweck im rückwärtigen Teil der Fahrbahntafel bei Z (Fig. 59 *b*) eine Trommel eingesetzt wird, um das lotrecht stehende Getriebe G anzutreiben, durch das die drehende Bewegung des letzteren auf die wagrechte Hauptwelle W_3 übertragen, und von hier aus in der bereits beschriebenen Art nach der Welle W_7 oder aber nach W_8 übergeleitet werden kann. In dieser Weise können mittels durch die Trommel gesteckter Hebel 24 Mann die Kippbewegung in $12\frac{1}{2}$ Minuten, die Drehbewegung um 90° in $8\frac{1}{2}$ Minuten ausführen, während mittels der Turbinen dieselbe Leistung in $(2 + 1\frac{1}{3} =) 3\frac{1}{3}$ Minuten bethätigt werden kann.

Bei Druckwasserbetrieb erfordert die vollständige Doppelbewegung 170 cbm Wasser.

Das Eigengewicht der 4 Hauptträger einschliesslich der Fahrbahntafel beträgt 4 t/m; die veränderliche Last 450 kg/qm. Das Gegengewicht wurde bei 30,1 m Länge des langen und 13,5 m des kurzen Armes zu 208,6 t berechnet und mit 266 t ausgeführt. Bei ausgedrehter Brücke kommen von dem Gesamtgewicht von 536 t auf die hinteren Triebräder 70,8 t, auf die zum Dorn konzentrischen Rollen und Radkränze 465,8 t. Bei eingedrehter Brücke verteilt sich das Gewicht auf die Stellschrauben (492,6 t) und die zahnförmigen Auflager am Widerlagerrand (Fig. 59 *b*) (81,2 t). Das Tragsystem ist, da die kegel förmigen Zapfen L im Scheitel keinerlei Kraft übertragen sollen, bezüglich der äusseren Kräfte statisch bestimmt, bezüglich der inneren Stabspannungskräfte der vollständig steif ausgeführten Doppelschrägen halber vielfach statisch unbestimmt. Befremdend ist die Verwendung der überaus schwachen Eisenstärken, z. B. der Anschluß der kräftigen Schrägen an das nur 10 mm dicke Gurtungsstahlflacheisen, ohne Verstärkung desselben wenigstens nächst den Knotenpunkten, wodurch sehr bedeutende örtliche Überspannungen an diesen Anschlußpunkten auftreten müssen.

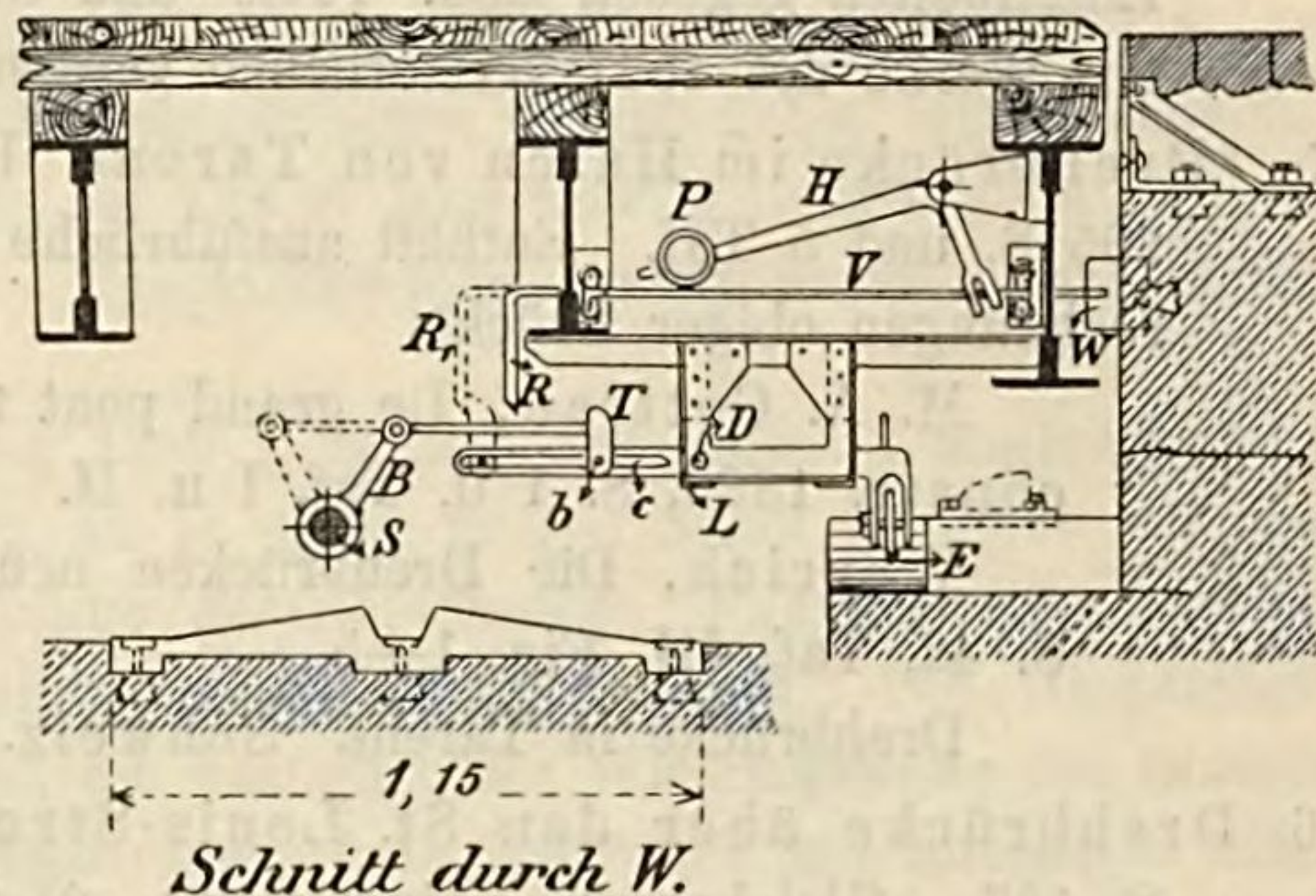
Gewichts- und Kostenangaben. Eiserner Überbau 342,20 t; Mechanismus mit der Brücke beweglich 50,14 t; feststehender Mechanismus 54,63 t; zusammen 446,97 t, einschliesslich des Gegengewichtes aus Guss Eisen und Abfällen. Überbau 324 000 M.; Motor und Bewegungsmechanismus 36 450 M.; Wasserkraft mit Zuleitung 23 490 M.

c. Selbstthätige Riegelvorrichtung einer Drehbrücke über die untere Schelde bei Gent (Belgien) [Litt. 68].

An dieser, zum Durchdrehen eingerichteten Brücke mit 2 Lichtöffnungen von je 12,5 m Weite fehlen Pufferanordnungen, an deren Stelle die Brücke beim Eindrehen durch einen selbstthätig vorschnellenden Riegel zum Stillstand gebracht wird. Die Verriegelung wird beim Senken der Brücke selbstthätig gelöst und tritt wieder in Thätigkeit, sobald das Brückenende an einem der Landpfeiler anlangt. Auf der Welle S (Fig. 60), die zugleich Achse der Anhub- und Stützvorrichtung für die Endlager ist, sitzt der Winkelhebel B , den die mit der Nase T versehene Lenkstange bei Drehung der Welle mitnimmt. Die Nase T wird in der Nut des zweiarmigen Hebels C , der um die Axe D , welche mit dem eisernen Überbau fest verbunden ist, lotrecht drehbar ist, geführt. Das rechte Hebelende trägt das Laufrad E (in der Zeichnung für die geschlossene Brückenstellung dargestellt). Wird die Brücke gesenkt, wobei die Welle S sich nach

links dreht, so faßt die Nase T den Riegel R und bringt ihn in die Stellung R_1 (punktiert); dadurch wird der Riegel V aus der Gufsplatte W gezogen und die Brücke zum Ausdrehen frei. Da durch das Zurückziehen des Riegels V das Gegengewicht P des Hebels H , das den Riegel V in die Stellung R zurückdrückt, gehoben wird, so löst beim Eindrehen der Brücke der Winkelhebel C beim Ansteigen des Rädchens E über die Keilfläche des Widerlagers die Nase T den Winkelhebel B aus der Stellung R_1 aus, der Riegel V wird durch P gegen das Brückende geschoben und die Brücke derart wieder verriegelt.

Fig. 60. Drehbrücke über die untere Schelde bei Gent. Selbstthätige Riegelvorrichtung.



Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Drehbrücken betreffend.

Die mit einem * versehenen Gegenstände fanden bereits nähere Besprechung.

1. Pont tournant d'Arenc de Marseille. Génie civil 1886/87, Bd. 10, S. 87 und G. Lebris, Les constructions métalliques, S. 248. — Eine von M. Barret im Hafen von Marseille ausgeführte ungleicharmige Straßenbrücke, 8,8 m breit und 95,20 m lang ($= 59,00 + 36,20$ m) für eine lichte Durchfahrtsweite von 50 m.
2. Straßendrehbrücke über den Mund des Zoll- und Binnenhafens von Mainz, 1887. Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. 2. Aufl. S. 128, No. 16^a und S. 133. Sie war zur Zeit ihrer Erbauung (1885/86) eine der größten Drehbrücken in Deutschland. — Gleicharmig, 59,90 m lang, auf einem 10 m dicken, kreisrunden Drehpfeiler lagernd, ist sie zum Durchdrehen eingerichtet. Trägerhöhe in Mitte 6,5 m, über den Widerlagern 2,14 m. Die Fahrbahn liegt unten, ist 9 m ($= 5,5$ m Fahrweg und $2 \times 1,75$ m Fußwege) breit und mit Holzpflaster abgedeckt. Hauptträgerentfernung 9,3 m. Der Bewegungsmechanismus besteht aus dem Königsstuhl und 4 etwas federnden Führungsrädern in 4,12 m Entfernung von ersterem. Für das Heben und Senken, Ent- und Verriegeln der Brückenden ist eine Vorrichtung angebracht, die nur eine Handhabung des die Brücke bedienenden Arbeiters erfordert. Das Heben und Senken erfolgt durch ein Kniehebelwerk, das ähnlich wie bei der Ludwigshafener Drehbrücke (siehe S. 20, Fig. 22) zwischen den doppelwandigen Endquerträgern angebracht ist und durch einen gemeinsamen Schraubenantrieb, der gleichzeitig die Brücke ent- und verriegelt, von Brückenmitte aus in Bewegung gesetzt wird. Beim Einschwenken der Brücke kommt eine Pufferung mit selbstthätiger Riegelung zur Wirksamkeit. Belastung 400 kg/qm und ein 18 t-Wagen mit 3 m Achsstand; zulässige Beanspruchung 700 kg/qcm. Eisengewichte: Hauptträger 76 t, Verspannungen 5,2 t, Fahrbahn 88,4 t, Fußwege 12,8 t, zusammen 182,4 t; hierzu die Drehvorrichtung 49,4 t und das Geländer 4,2 t. Kosten: Eisenkonstruktion 71700 M., Holzpflaster 8500 M., Anstrich 900 M. und eine von der Festung verlangte Sperrvorrichtung 500 M., zusammen 81500 M. Beachtenswert an der Hauptträgerdurchbildung ist der mittels Gelenkbolzen erfolgte Anschluß des einfachen, symmetrischen Ausfüllungssystems an die durchlaufenden Gurtungen, in der Absicht, die Nebenspannungen etwas herabzumindern. Entworfen und ausgeführt wurde die ganze Eisenkonstruktion von der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg (A. Rieppel).
3. Le nouveau pont tournant de la baie de Newark. Génie civil 1887, Bd. 11, S. 201, mit Abb. In einer 3 km langen Eisenbahnbrücke wird die Drehbrücke durch eine neue ersetzt und der Verkehr durch eine kleine 29 m Drehbrücke zeitweilig aufrecht erhalten. Nähere Mitteilungen hierüber.

4. Pont tournant de l'Abattoir. Port de Marseille. Portefeuille économ. des machines, Oppermann, 1887, S. 177, Taf. 47, 48 u. 49. Gleicharmige Straßendrehbrücke, 73,80 m lang, je 30 m Lichtweite. Gekrümmter Obergurt: Höhen 4,35 und 2,60 m. Netzwerk aus Flacheisen, mit lotrechten Winkeln abgesteift. Fahrbahn 8 m breit, Hauptträgerentfernung 8,3 m. Die Druckwasser-Anhebevorrichtung stützt sich auf die Anwendung des Barret'schen Recuperateurs¹⁴⁾, dessen Einzelheiten gegeben sind. Preis- und Gewichtsangaben fehlen. Diese Brücke war eines der letzten Werke des 1887 verstorbenen verdienstvollen französischen Ingenieurs Barret.
5. *Drehbrücke im Hafen von Tarent. Hierüber: G. Crugnola, Dei ponti girevoli, Turin 1888. 205 S. und 5 Taf. Enthält ausführliche Zeichnungen, auch Mitteilungen über die statischen Berechnungen obiger Brücke.
M. A. Cottrau, Le grand pont tournant de l'Arsenal de Tarent. Nouv. annales de la constr. 1888, S. 1 u. Taf. I u. II.
Weyrich, Die Drehbrücken neuester Konstruktion. Glaser's Annalen 1890, Bd. 27, S. 42, Taf. III, Fig. 1—5.
Drehbrücke in Tarent. Schweiz. Bauz. 1890, Bd. 15, S. 62, mit Doppeltafeln.
6. Drehbrücke über den St. Louis-Strom bei Duluth. Deutsche Bauz. 1888, S. 135, Abb. S. 137. Gleicharmige, eingleisige, 91,44 m lange Drehbrücke, 7,92 m Pfeilerdurchmesser, gekrümmter Obergurt 9,14 und 7,92 m hoch, Hauptträgerentfernung 4,8 m, Rollenkranz; Drehen und Endheben der Stützen von Hand vom Pfeiler aus. Gewicht der Eisenkonstruktion 195 t.
7. Eine selbstthätige Drehbrücke. Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 518, mit Abb. Für kleine Kanalbrücken in dünn bevölkerten Gegenden (ohne Brückenwärter) in Amerika mehrfach ausgeführt. Die gleicharmige, 17,7 m lange, 4,57 m breite Brücke ruht auf einem Rollenkranz und läßt beiderseits 6,4 m lichte Durchfahrt frei; sie wird durch das einfahrende Schiff ausgedreht und gelangt nach dessen Durchfahrt infolge der Wechselwirkung zweier entgegengesetzt angespannter Federn wieder in die Ausgangsstellung zurück. 6 Abbildungen geben ein anschauliches Bild der Gesamtanordnung.
8. Tientsin swing bridge, China Railways. Engineer 1888 I, S. 89 u. 154, mit Abb. Zweigeleisige, gleicharmige Bahndrehbrücke, 46,72 m lang, Parallelträger, Höhe 3,67 m. Der Rollenkranz läuft oben und unten auf *malava*-Holz, das so hart wie Eisen; Verriegelung und Endauflagerung mit Keilen; die Eisenkonstruktion wurde in 68 Tagen ausgeführt. Gewichtsangaben fehlen.
9. Howe truss timber across the Willamette river (Oregon). Engineering 1888 I, S. 9, mit Abb. Die gleicharmige, 79,24 m lange Drehöffnung dieser Brücke ist 8,01 m hoch bei 5,89 m Entfernung der Hauptträger. Der Drehpfeiler ist ganz aus Holz, Zahnkranzgetriebe von Hand, Drehzeit 2 Minuten für 1 Mann, Gewicht der Brücke 3,28 t/m. Ganze Bauzeit der 186 m langen Brücke 5 Monate. Deutliche Zeichnung der Holzkonstruktion.
10. The Kentucky and Indiana bridge. Engineering 1888 I, S. 85, mit Abb. In der sehr langen, eingleisigen Bahnbrücke, die aufsen auf Kragarmen noch je 2 Fahrwege trägt (insgesamt 14,33 m breit), ist ein gleicharmiges Drehöffnungsfeld von 110,64 m Länge und 14,15 m Höhe über Pfeiler eingefügt. Die Anordnung der Ausfüllungsstäbe des Hauptträgernetzes ist sehr abweichend von der in Amerika meist üblichen. Über zulässige Beanspruchung und angestellte Beobachtungen über Längenausdehnung der Träger durch die Sonnenbestrahlung werden eingehende Mitteilungen gegeben.
11. Pont tournant de Castletown (île de Man). Génie civil 1888, Bd. 13, S. 110, mit Abb. Kleine ungleicharmige Blechdrehbrücke von 9,12 m Länge, trägt auf einer 7,8 m breiten Holzfahrbahn ein Straßengeleise. Drehkranz- und Endkeilauflagerung mit Handbetrieb vom Pfeiler aus.
12. Drehbrücke im Hafen von New York. Railroad Gaz. 1888, S. 399. Gleicharmige eingleisige Bahnbrücke von 150 m Länge, bei 4,8 m Hauptträgerentfernung. Gewicht 656 t.
13. Drehbrücke der Lake Erie-Eisenbahn über den Hackensack-Fluss. Railroad Gaz. 1888, S. 469. Die gleicharmige, 63 m lange, zweigeleisige Drehbrücke mit 9 m Hauptträgerentfernung lagert auf einem Rollenkranze von 11 m Durchmesser. Dampfbetrieb, 8 pferdiger Dampfkessel.
14. *Drehbrücke über die Peene bei Loitz. Th. Janssen, Zeitschr. f. Bauw. 1889, S. 229, mit Taf. 30 u. 31.
15. *Die Hawarden-Drehbrücke über den Dee-Fluss. The swing bridge over the river Dee. Engineer 1889 II, S. 428, 452, mit Abb.

¹⁴⁾ Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. S. 67.

Pont tournant sur le Dee. Génie civil 1889/90, Bd. 16, S. 92, mit Abb., und 1893, Bd. 23, S. 23 u. Taf. II.

The Hawarden bridge over the river Dee. Engineering News 1892 II, S. 246, mit Abb.

H. Lavollay, Le pont sur la rivière Dee à Hawarden. Nouv. annales de la constr. 1893, S. 33 und Taf. 10 u. 11.

G. Lebris, Les constructions métalliques, 1894, S. 247, mit Abb.

16. The fort Madison bridge across the Mississippi (Jowa). Engineering 1889 II, S. 73, mit Doppeltafeln. Die gleicharmige Drehöffnung der eingelegigen Bahnbrücke, mit beiderseitig auf Kragarmen angehängten 2,4 m breiten Fußwegen, ist 122 m lang und in ausgedrehter Stellung durch eine Holzkonstruktion vollständig geschützt. Hauptträgerform trapezförmig. Bahn unten. Sonstige nähere Angaben fehlen.

17. The new harbour works at Calais. Engineering 1889 I, S. 607, mit Abb. 4 ungleicharmige Straßendrehbrücken mit Trambahngeleise, 2 große zu je 48,54 m ($= 27,99 + 20,55$ m) und 2 kleine zu je 35,74 m führen über die Schleusenhäupter der Hafenanlage; Fahrwegbreite 5,20 m, Breite zwischen den Geländerholmen 8,80 m; Hauptträgerentfernung 6,30 m. Die Hauptträger besitzen gerade Unter- und gekrümmte Obergurte und ein bezüglich der Wirkungsweise der inneren Kräfte äußerst unklares Ausfüllungssystem, halb Blechträger, halb Fachwerk mit lotrechten Ständern und doppelten, steif durchgebildeten Schrägstäben. Das Gesamtgewicht der großen Brücken beträgt 265 t, einschließlich des Ballastes im Betrag von 45 t, das der kleinen 190 t (bezw. 30 t) und wird mittels Wasserdruckes angehoben und gedreht; die Maschinerie besteht aus dem Königsstuhl mit der Wasserdruckpresse (Glycerin als Druckflüssigkeit) von 50 Atm. Spannung und den Wipp-, Sperr- und Drehpressen. Für den Notfall ist Handbetrieb vorgesehen.

18. Die Drehbrücken im Bassin Bellot in Havre. Swing bridge at the port of Havre. Engineering 1889 II, S. 538, mit Abb., giebt ohne erläuternden Text die perspektivischen Abbildungen zweier sehr plump aussehender Drehbrücken (einer Blechbrücke und einer Fachwerksbrücke mit vierfachem, steif (L-Eisen) durchgebildetem Schrägensystem); ebendasselbst S. 619, mit Abbildung, die von Barret erbaute, 53,02 m ($= 35,80 + 17,22$ m) lange, ungleicharmige Straßendrehbrücke mit engmaschigem Netzwerk der Hauptträger. Die Bedienung der Brücke, nämlich das Anheben, Kippen und Drehen erfolgt mittels Wasserdruckes, ähnlich wie bei der Pollet-Brücke; nur der Preßwasser-Königsstuhl ist in abweichender Art durchgebildet und wird dessen Dreh- und Hubkolben durch einen wagrechten Keil (1:10) mittels einer wagrechten Druckpresse von 1200 mm Hublänge gehoben und gesenkt.

M. Desprez, Port du Havre, ponts tournants (Bassin Bellot). Ann. des ponts et chaussées 1889 I, S. 35, mit Taf. 4, 5 u. 6, sehr eingehende Beschreibung.

Weyrich, Die Drehbrücken neuester Konstruktion. Glaser's Annalen 1890, Bd. 27, S. 28 u. Taf. I, Fig. 17—20. — Hieraus noch folgende Angaben: Fahrweg aus Holz (mit einem Bahngeleise in der Mitte) 4,62 m, Fußwege $2 \times 1,27$ m, Hauptträgerentfernung 7,72 m, Trägerhöhen 4 m und 2,60 m. Anhebevorrichtung: Das Brückengewicht beträgt 370 t, von denen, da Druckwasser unter den Hebekolben (920 mm) des Königsstuhles geleitet wird, nur mehr 18 t (wozu noch 50 t aus dem Eigengewicht des Drehzapfens und Cylinders kommen) auf die Reibungsfläche des bereits erwähnten wagrechten Stützkeiles, dessen Druckpresse beim Vorwärtsgang 180 t und beim Rückgang 145 t Kraft ausübt, treffen können. Gewichtsangaben: Eiserner Überbau 197,5 t Schweißseisen, 13,9 t Stahl; 118,5 t Ballast des kurzen Armes; hölzerne Fahrbahn 40,2 t. Bewegungsvorrichtungen: Drehzapfen, Keil und Zubehör 38,6 t; Drehcylinder und Zubehör 14,6 t; Stützrollen und Laufbahn 5,2 t; Lager 2,4 t und Steuervorrichtung und Rohrleitungen 4 t; zusammen 64,8 t. — Außerdem waren noch für die Fahrbahntafel 16 cbm *pitch-pine*, 22 cbm Eichen- und 7,5 cbm Ulmenholz erforderlich.

19. The Drypool swing bridge, Hull. Engineer 1890 I, S. 4, mit Abb. Ungleicharmige Straßendrehbrücke von 49,68 m ($= 16,76 + 32,92$ m) Länge mit geschweiften Obergurtungen; Höhen $h = 5,79$ m und 0 m; Hauptträgerentfernung 6,10 m. Der Drehpfeiler besteht aus 6 Cylindern von 2,44 m Durchmesser, jeder auf 200 t Tragkraft geprobt. Fahrbahntafel aus Holz mit 4 schmiedeeisernen Schienen gegen allzu rasche Abnutzung versehen. Die Brücke wird auf dem Rollenkranz mittels Wasserdruckes (49,2 Atm. Druck) gedreht. Gewicht der zu bewegenden Teile 480 t. Beim Schließen der Brücke laufen die Enden auf stellbaren Keilen auf. Selbstthätige Verriegelung. Die Steuerung erfolgt von der Brückenmitte aus.

Pont tournant de Drypool à Hull. Génie civil 1889/90, Bd. 16, S. 327, mit Taf. 30.

20. *Die Brücke über den Themse-Fluss in Neu London (Conn.) ist am eingehendsten behandelt in der Monographie: A. P. Boller, The Thames river bridge and approaches at New London (Conn.), erschienen in New York: 43 Seiten mit 12 Tafeln und vielen Tabellen über die Proben des verwendeten Herd- und Bessemerstahles.

Pont tournant à double voie ferrée, Thames river, New London. Génie civil 1889, Bd. 15, S. 261, mit Abb.

Foundations of the New London bridge pivot pier of the Thames river draw bridge. Railroad Gaz. 1890, S. 763, mit Abb. Beschreibung der Fundierung des Drehpfeilers mittels Holzcaissons auf Pfahlrost.¹⁵⁾

G. Lebris, Les constructions métalliques, 1894, S. 249, mit Abb.

21. Portes de garde du pont tournant de Point street à Providence (E. U.) G. Richou, Génie civil 1889, Bd. 15, S. 210, mit Taf. 16. Eine gleicharmige, 1872 gebaute Straßendrehbrücke, 75 m lang, 11,07 m ($= 7,35 + 2 \times 1,86$ m) breit, war für den gesteigerten Verkehr (bis 79 Drehungen täglich) zu sichern. Hierzu dienen Thore, die durch eine Dampfmaschine, die ohnehin für den Brückenbetrieb vorhanden war, geschlossen werden; das Öffnen erfolgt durch Gegengewichte mittels Drahtkabel (12,5 mm), welche gleichzeitig eine Signalvorrichtung stellen. Seit 1884 im Betrieb, hat der Mechanismus bis jetzt (1889) in Bezug auf Sicherheit und Betriebskosten gut entsprochen.

22. Eine Drehbrücke mit elektrischem Betrieb. Glasers Ann. 1890, Bd. 26, S. 191. Kurze Mitteilung über den Betrieb einer 54 m langen, 18 m breiten und 320 t schweren Drehbrücke in Bridgeport (Conn.) durch eine 7—8pferdige Dynamomaschine; Kraftübertragung durch Zahnräder; sie ist, soweit uns bekannt, die erste größere Brücke mit elektrischem Antrieb.

Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verwaltungen 1890, S. 452. Kurze Mitteilung desselben Inhaltes.

23. Die Kanalbrücke bei den St. Mary-Fällen (N. A.). Kemmann, Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 477, mit Abb. und Taf. 72. Eine 88,83 m lange, 10 m hohe gleicharmige Drehbrücke auf einem Rollenkranz (8 m) gelagert, überspannt mit einem Arm, an dem ein Klappenwehr angebracht ist, den Kanal; das Wehr wird in unbenutztem Zustand in wagrechter Lage so hoch gewunden, daß der Kanalquerschnitt völlig frei bleibt. Die eigentümlichen Belastungsverhältnisse beim Eintauchen der Schützen und die Art, wie ihnen Rechnung getragen ist, wird näher besprochen. Die Brücke wird nicht verriegelt und durch 6 Mann von Hand gedreht.

24. *Eisenbahnbrücke über die Eider bei Friedrichstadt. Dreessen, Magens und Lesser, Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1890, S. 585 und Taf. 14 u. 22.

25. *Die Baakenbrücke über den Magdeburger Hafen in Hamburg. Weyrich, Glasers Ann. 1890, Bd. 27, S. 45, mit Taf. III, Fig. 6—9.

Weyrich, Die Baakenbrücke in Hamburg. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1895, S. 279, mit Abb. und Taf. 12—16. Genaueste Quelle zum Studium dieses Bauwerkes.

Le pont tournant de Hambourg (Baakenbrücke). Génie civil 1895/96, Bd. 28, S. 390, mit Abb. und Taf. 25.

26. Die größte Drehbrücke im Hafen von New-York. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 257, ohne Abb., giebt die kurze Beschreibung einer im Hafen von New-York im Bau befindlichen Drehbrücke von 148,95 m Länge und 656 t Gewicht, bei 4,8 m Breite. Zahnkranzgetriebe mit Dampfmaschinenbetrieb.

27. Draw bridge interlocking. Railroad Gaz. 1890, S. 20, mit Abb. Signalisierung und Verriegelung einer zweigeleisigen Bahndrehbrücke, bei der auf der einen Seite zwei, auf der anderen Seite noch ein Geleis abzweigt.

28. Signaling and interlocking of the Thames river draw bridge. Railroad Gaz. 1890, S. 106, mit Abb. Sicherung der zweigeleisigen Thames river draw bridge Bahnbrücke durch Signal- und Verriegelungsvorrichtungen.

29. Three lever machine for signaling and locking draw bridges. Railroad Gaz. 1890, S. 768, mit Abb. Enthält Einzelheiten einer derartigen Anordnung für eine zweigeleisige Bahn.

30. Appareil hydraulique pour la manoeuvre d'un pont tournant à Gand. Génie civil 1890/91, Bd. 18, S. 247, mit Taf. 23. Eine kleine, 40 m lange (dabei nur eine lichte Durchfahrt

¹⁵⁾ S. 33 dieses Heftes.

- von 17 m), 8 m Breite und 150 t schwere Straßendrehbrücke (Blechträger) wird seit 4 Jahren durch eine kleine Turbine mit $3\frac{1}{2}$ Atm. Druck nach dem System Dulait betrieben; die Übertragung (es muß die Drehgeschwindigkeit von 200—250 Umdrehungen auf $\frac{1}{4}$ Umdrehung umgesetzt werden) wird durch Reibungskuppelungen mittels kegelförmiger Scheiben bewirkt. Der Wasseraufwand beträgt in 75 Sek., das ist die erforderliche Zeit für eine Drehung, 350 l = 0,035 Frs. Das Wasser hierzu wird der städtischen Leitung entnommen. Anzahl der täglichen Umdrehungen ungefähr 30mal. Einrichtungskosten der ganzen Bewegungsvorrichtung 3240 M.
31. *Vorrichtung zur Herstellung eines genauen Schlusses der Drehbrücke bei Camp-Carnin. Lademann, Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 362, mit Abb.
32. The swing span and pivot pier of the Coteau bridge (U. S.). Engineering News 1891 I, S. 524, mit Doppeltafel. Eingehende Beschreibung der Endhebe- und Drehvorrichtung der eingeleisigen, 77,72 m langen Drehöffnung. Die Endhebung erfolgt durch eine Schraube ohne Ende von der Pfeilermite aus durch Gestänge; die Drehung auf dem Rollenkranz wird, gesondert hiervon, mittels Zahnkranzgetriebe in üblicher Weise bewirkt. Handbetrieb. Die Beschreibung der Brücke selbst war im Aprilheft 1890.
33. *Carrying a cable railway across a draw bridge. Engineering News 1891 II, S. 296, mit Abb.
34. *Swing span of the Winona bridge (over Mississippi river). Engineering News 1891 II, S. 370, mit Tafel. Vollständiges Maß- und KräfteNetz der Hauptträger.
35. *Note sur le pont tournant de Pollet (Dieppe). M. P. Alexandre, Ann. des ponts et chaussées 1891 II, S. 584, mit Taf. 66—68, giebt die eingehendste Schilderung dieser Brücke, einschließlich der Berechnung der Bewegungsvorrichtungen.
 The Pollet swing bridge. Engineer 1892 II, S. 95, 134, 148 u. 218, mit Abb.
 Le pont tournant du Pollet. Ann. industr. 1892 I, S. 391, 453, 484 u. 517, mit Abb. und Taf. 27—30 u. 35.
 Pollet bridge. Railroad Gaz. 1892, S. 631, mit Abb.
 Gérard Lavergne, Pont tournant du Pollet, à Dieppe. Génie civil 1893, Bd. 23, S. 33, mit Abb. und Taf. 3.
36. *Swing bridge over the Glamorganshire canal. Max am Ende, Engineer 1891 II, S. 105, mit Abb. Eingehende Beschreibung; auch Angaben über die Zapfenreibung am Königsstuhl.
 Pont tournant sur la canal du Glamorganshire à Cardiff. Génie civil 1891, Bd. 19, S. 324, mit Taf. 21.
37. *Bridge over the Snake river at Riparia, Washington. G. Morison, Engineering 1891 II, S. 526, mit Abb.
38. *The Clarence bridge at Cardiff (South Wales). Engineering 1891 I, S. 127, 185, 276, 332 u. 349, mit Abb. u. 2 Doppeltafeln. Sehr eingehende Beschreibung des ganzen Bauwerkes nebst Mitteilungen über Proben des verwendeten Schweißseisens, Stahles u. s. w.
 Clarence. Engineering News 1891 I, S. 259, ohne Abb.
39. *The Manchester ship canal. Engineering 1891 I, S. 188, mit Abb. S. 190. Kurze Beschreibung der Straßendrehbrücke bei Moorlane; siehe auch die frühere Tabelle, S. 26.
40. Pont et bassin du Sporweghaven (Hollande). M. E. Lippmann, Mém. de la société des Ing. civ. 1891 II, S. 700 u. 726, mit Taf. 51, Fig. 12 u. Taf. 52, Fig. 15 u. 30. Reisebericht. Kurze Beschreibung einer gleicharmigen Straßendrehbrücke, 55,20 m lang, 8,90 m breit und 300 t schwer, mittels Zahnkranzgetriebes von Hand bewegt und einer der Rotterdamer¹⁶⁾ ähnlichen Drehbrücke von 53,56 m Länge. Dessen Hauptträgergewicht wird mittels dreier 0,17 m dicker und 3,17 m langer Zapfen in nicht näher beschriebener Weise auf einen Königsstuhl übertragen. Beschreibung des Triebwerkes ohne weitere Gewichts- und Kostenangaben.
41. Swinging draw bridge by electricity. Railroad Gaz. 1891, S. 578, mit Abb. Beschreibung der Neueinrichtung für elektrischen Antrieb einer bislang mit Dampfkraft bewegten, 73,15 m langen, 17,98 m breiten und 800 t schweren, gleicharmigen Drehbrücke auf Rollenkranz (14,62 m). Die Zuleitung des elektrischen Stromes aus der ungefähr $\frac{3}{4}$ engl. Meilen entfernten Centralstation zu dem Drehpfeiler erfolgt durch unterirdische, doch im Notfall leicht erreichbare Kabel, die zu einem 25pferdigen Motor führen, an dem der Bewegungsmechanismus angehängt ist. Die Steuerung bethätigt der Maschinist durch Handhebel von dem über dem Pfeilerfach aufgestellten Häuschen

¹⁶⁾ Handbuch der Ingenieurwissenschaften, Bd. II, 3. Abt., Taf. III, Fig. 9.

aus, in welchem ein Glühlicht brennt, zur Kontrolle, daß der Strom auch richtig läuft. Es ist ferner eine Einrichtung getroffen, um den Drehsinn der Brücke wechseln zu können, ohne die Richtung des Hauptstromes ändern oder unterbrechen zu müssen. Die erforderliche Spannung für den elektrischen Motor beträgt ungefähr 500 Volt (ist aber wesentlich geringer zwischen den letzteren und der Centralstation) und die Stromstärke zum Drehen 35 Ampère. Die Hauptwelle kann jedoch im Bedarfsfall (Sturm) binnen 2 Minuten auch noch mit der Dampfmaschine verbunden werden. Als Vorzug der Neueinrichtung wird hervorgehoben, daß gleich beim Anlaufen der elektrische Motor mit voller Kraft zur Wirkung kommt und ferner die Brücke sich ohne das bisherige Knarren und ohne Schwingungen glatt und ruhig dreht, auch in jedem Augenblick gebremst, und sogar in umgekehrter Richtung gedreht werden kann. Ferner entfällt bei Neuanlagen (ohne gleichzeitigen Dampfkraftbetrieb wie hier) das die Brücke belastende Gewicht, bestehend aus Dampfmaschine, Kessel, Wasser- und Kohlenbehälter u. s. w., sowie jede damit verbundene Verkehrsbelastung durch Rauch und Schmutz.

42. The Liverpool overhead railway. Engineering 1891 II, S. 741, mit Abb. und Doppeltafel. Näheres dieser Drehzugbrücke S. 73 dieses Heftes.

43. *Cantilever supports for a swing span. Engineering News 1892 II, S. 441, mit Abb. (vergl. Fig. 36 auf S. 31).

44. *Competitive designs for a draw bridge over the Duluth ship canal. Engineering News 1892 II, S. 390, mit Tafel. Eingehende Besprechung der bemerkenswerteren Entwürfe dieses Wettbewerbes.

P. Crépy, Projets d'un pont mobile sur le canal de Duluth (E. U.). Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 101, mit Taf. 7.

45. Drehbrücke im Hafen von Bregenz. A. Oelwein, Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892, S. 298, mit Fig. 10 auf Taf. 23. Kleine, ungleicharmige Drehbrücke von 30,77 m (= 12,67 + 18,10 m) Länge, Parallelträger, wird mittels eines Gangspilles zuerst gehoben und dann auf 72 Eisenkugeln (Patent Weikum) gedreht. (8 Mann in 10 Minuten.)

46. Eisenbahnbrücke über den Deime-Fluss. Schnebel, Centralbl. d. Bauverw. 1892, S. 333, mit Abb. Im Zuge dieser Brücke ist ein kleines Drehfeld (12,5 m Lichtweite), deren etwas abweichende Sicherungsanlagen näher beschrieben werden.

47. Harlem river bridge at 155. street, New York. Engineering News 1892 I, S. 256, mit Abb. und Ebendasselbst 1893 II, S. 199, mit Abb. Die gleicharmige, 125,45 m lange, 21,03 m breite (12,19 m Fahrweg und auf Kragarmen 2 × 3,2 m Fußwege) Straßensbrücke ist, in der äußeren Erscheinung ähnlich der bereits beschriebenen Themse-Brücke in Neu London, in der Mitte 19,05 m, an den Enden 7,62 m hoch; deren Hauptträgerentfernung 13,26 m. Fahrbahn Beton und Asphalt auf Buckelplatten; Fußwege Asphalt. Das zu drehende Gewicht beträgt 2400 t und wird auf einen Doppel-Rollenkranz (12,32 m Dmr.) von je 64 Gußstahlrollen übertragen. Dampfkessel, Maschine und Druckluftbehälter zu der mittels Druckwasser betriebenen Endhebe- und Bremsvorrichtung sind sämtlich im Raume unterhalb des Drehtisches untergebracht. Material weicher Stahl. Gesamtkosten 5 250 000 M.

Caisson for pier draw bridge; the 155. street viaduct and the 7. Avenue draw bridge, N. Y. City. Railroad Gaz. 1893, S. 20, mit Abb.

Haesler, Gründung der Drehpfeiler der 7. Avenue-Brücke in New-York. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 465, mit Abb., behandelt die Luftdruckgründung des Drehpfeilers (18 m Durchmesser), der eine besondere Anordnung des Senkkastens, sowie des Pfeilers selbst aufweist.

Railroad Gaz. 1895, S. 302. Kurze Mitteilung über die am 1. Mai erfolgte Eröffnung.

48. *The Darling harbor bridge competition at Sidney, New South-Wales. Engineering News 1892 II, S. 298, ohne Abb. Polemik und Gründe, warum an dieser Preisbewerbung so wenig amerikanische Ingenieure sich beteiligten.

A floating swing bridge. Ebendasselbst 1893 I, S. 141, mit Abb. Ausführliche Beschreibung dieses Entwurfes.

49. Plate girder draw over the Dismal swamp canal. Engineering News 1892 II, S. 417, mit Abb. und Tafel. Diese zweigeleisige, ungleicharmige, 36,58 m (= 23,32 + 13,26 m) Eisenbahndrehbrücke wurde an Stelle einer alten Brücke errichtet. Gegengewicht 58,8 t aus Ziegelsteinen und Beton; Gesamtgewicht, einschließlic des Gegengewichtes 200 t. Die 4 Hauptträger wurden, je einer zusammengenietet, 250 engl. Meilen weit mit der Bahn verschickt. Wandbleche der Hauptträger 2,08 m × 9,8 mm; Gurtungswinkel 137 × 114 × 9,5 mm. Deckflacheisen: 4 × 356 × 11 und 1 × 356 × 9,5 mm. Center bearing Auflagerung über Pfeiler (ähnlich Fig. 46 d, S. 36) und End-

auflagerung mittels Keilen, durch Zeichnung deutlich dargestellt. Handbetrieb durch einen Mann mittels 2 Antriebshebeln, von denen einer zum Endheben und Verriegeln, der andere zum Drehen dient. Materialverteilungsplan für die Hauptträger.

50. Fraser river bridge, Canadian Pacific railway. Railroad Gaz. 1892, S. 873, mit Abb. Hölzerne Drehbrücke.
51. The Madison street bridge. Railroad Gaz. 1892, S. 189, mit Tafel. Ausführliche Beschreibung der 60,04 m langen Straßendrehbrücke (mit Trambahngeleise), sowie Darstellung der Bewegungsvorrichtungen. Hauptträgerentfernung 11,28 m; Fußwege $2 \times 2,13$ m auf Kragarmen außerhalb der Hauptträger. Brückengewicht 375 t einschließlic Drehtafel auf dem Rollenkranz; die Feststellvorrichtung ist, abweichend von der in Amerika meist üblichen, mit Federn versehen, welche beim Einschwenken pufferartig wirken. Kosten 220 500 M. Die Brücke wird nur in festgestellten Zeiträumen, nach welchen sich die Schifffahrt zu richten hat, geöffnet.
52. Swing bridge for Kidderpore docks (Calcutta). Engineer 1892 I, S. 350, mit Abb. Ungleicharmige Blechträgerbrücke von 26,21 m ($= 16,61 + 9,60$ m) Länge, 1,68 m Höhe (Parallelträger) und 6,12 m Hauptträgerentfernung mit Durchfahrtsöffnung von 12,19 m. Rollenkranz. Am kurzen Arm 25 t Ballast. Endauflager: Keile mit den üblichen Kurbelgetrieben. Handbetrieb: 2 Mann $1\frac{1}{2}$ Minuten um 90° .
53. *End adjusting gear for draw bridge. Turner u. Warner, Engineering News 1892 I, S. 386, mit Abb. M. J. Patterson, Ebendasselbst S. 458, mit Abb. Beide machen Vorschläge, um durch eine besondere Art der Endauflagerung bzw. Endhebung statisch bestimmte Hauptträgersysteme zu erhalten; gleichzeitig wird der rechnerische Nachweis des ökonomischen Wertes dieser Anordnung erbracht.
54. Pont tournant de Duffel. Rev. gén. des chemins de fer 1892 I, S. 160, mit Abb. Es werden die bei dieser Brücke getroffenen Anordnungen, die zum Zwecke eines guten Schlusses der Schienenköpfe an den Brückenenden dienen, besprochen.
55. *The 520' span; Interstate bridge (Omaha). Engineering News 1893 II, S. 225, 410 und 448, mit Abb. und Tafel. Pile-driving by water jet, Ebendasselbst 1894 I, S. 316, mit Abb. Eingehende Mitteilung über die Gründungsart der Zwischenpfeiler mittels Wasserspülung. (Der Drehpfeiler wurde mittels Senkkasten ausgeführt.)
56. *The Harlem four-track draw bridge, New York Central and Hudson river Railroad. Railroad Gaz. 1893, S. 602, mit Abb. Eingehende Beschreibung dieser Brücke einschließlic der Gründung des Drehpfeilers.
 Harlem river draw bridge. Engineering News 1893 I, S. 559, mit Abb. und 1893 II, S. 167 u. 198, mit Abb.
 The Harlem river four-track draw bridge. Engineering rec. 1896 I, S. 133, 184 u. 221, mit Abb.; bringt vollständige Spannungsnetze der Hauptträger, Einzelheiten des Drehtisches, der Endauflagerung u. s. w.
57. *The third Avenue bridge over the Harlem river. Railroad Gaz. 1893, S. 684, mit Abb. und Ebendasselbst 1895, S. 324, The pivot pier of the 3. Avenue bridge over the Harlem. Eingehende Beschreibung der Pfeilergründung. Die Mitte des Pfeilers ist unbelastet (Rollenkranzauflagerung) und daher hohl. Das Gewicht des Pfeilers beträgt ungefähr 8234 t; die Drehöffnung wiegt 1800 t; zusammen 10034 t Flußsohlenbelastung; dies giebt ungefähr $2,51 \text{ kg/qcm}$ mittleren Bodendruck. Es folgen Angaben über Mischungsverhältnisse des Beton, Holzgattungen für den Senkkasten u. s. w. Letzterer, aus Holz und Beton bestehend, war achteckig, 6,10 m hoch mit 23,78 und 9,14 m eingeschriebenen Durchmessern, hatte Arbeitsräume für 60 Mann und wurde bis 15,24 m unter Hochwasser abgesenkt. Die neue Drehbrücke kommt an Stelle einer bereits bestehenden und muß durchschnittlich 60 mal täglich geöffnet werden.
58. *An automatic end latch for swing bridges. Engineering News 1893 II, S. 118, mit Abb. Selbstthätiger Drehbrückenverschluss. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 400, mit Abb.
59. W. Ritter, Der Brückenbau in den Vereinigten Staaten Amerikas (Weltausstellungsbericht) 1894, S. 65. Mitteilung über eine 73 m lange, gleicharmige, zweigeleisige Drehbrücke, die durch einen Gasmotor in Bewegung gesetzt wird. (Für den Notfall Handbetrieb.) Drehzeit 1 Minute bei nur 4,2 Pf. Kosten; Anzahl der Drehungen bis zu 104 mal täglich. Die Brücke hat an den Enden keine Hebevorrichtung, sondern läuft beim Schließen glatt auf 8 festgelagerten Rollen, die in den ver-

70. Plate girder swing bridge over the Bronx river, New-York City. Paterson, Engineering News 1895 I, S. 2, mit Abb. und Tafel. Die viergeleisige, gleicharmige, 53,56 m lange, vollwandige Drehöffnung besitzt 3 Hauptträger in je 8,68 m Entfernung und wiegt 550 t. Fahrbahn unten. Die oberen Hauptträgergurtungen sind nach einem Halbmesser von 338 m gekrümmt. Eingehende Beschreibung des Rollenkranzes, des ziemlich verwickelten Endhebe- und Verriegelungsgetriebes, das von dem Maschinenhaus aus, welches auf einem besonderen Aufbau über der Brückenmitte steht, gesteuert wird. Für den Notfall Handbetrieb. Der Antrieb erfolgt durch einen elektrischen Motor von 25 nominellen (43 garantierten) Pferdekraften, wobei der Strom der Stadtleitung entnommen wird. Die Proben ergaben folgendes Ergebnis: 1. Öffnen: Anlauf der Maschine, größte Kraft 29,7 HP.; Heben der Schienen und Ziehen der Endauflagerkeile 9,1 HP. und 30 Sek.; Ausdrehen der Brücke 19,3 HP. und 1 Min. 40 Sek. 2. Schließen: Anlauf der Maschine 36,3 HP.; Eindrehen 20,8 HP. und 1 Min. 50 Sek.; Niederlassen der Schienen und Festlegen der Keile 8,9 HP. und 30 Sek. Material des Überbaues mit wenigen Ausnahmen Schweisseisen. Durch nachträglichen hellen, grauweissem Anstrich wurde die durch die Wärmestrahlung der Sonne hervorgerufene Ausbiegung der Gurtung von 9,5 mm auf die Hälfte herabgemindert.
71. *Double swing bridge at Columbus, Cleveland (Ohio). Engineering News 1895 II, S. 82, mit Abb. und Tafel. Sehr eingehende Beschreibung mit zahlreichen Abbildungen.
72. The Sioux City bridge. Engineering News 1895 II, S. 370, mit Abb. Die von Waddell entworfene gleicharmige, 143,26 m lange Drehöffnung dieser 455 m langen Brücke trägt ein Geleise, 2 Fahr- und 2 Fußwege und wiegt 1360 t. Die ganze Brücke wurde in der Zeit vom 8. September bis 28. Oktober aufgestellt.
73. The new Delaware river bridge of the Pennsylvania Railroad. Railroad Gaz. 1895, S. 216, mit Abb. Entwurf einer Bahnbrücke. Das gleicharmige Drehfeld der zweigeleisigen Bahnbrücke ist 98,45 m lang, 18,29 m in der Mitte hoch. Jede Hälfte der Hauptträger ist in drei außergewöhnlich große Hauptfächer von 16,3 m Länge, die für die Aufhängung der Fahrbahn in 8,15 m-Fächer untergeteilt sind, zerlegt. Die Auflagerung über dem Drehpfeiler erfolgt, abweichend von der üblichen, durch einen Königsstuhl und Keile an den Enden der Drehpfeilerquerträger. An den 4 Enden der Hauptträger kann ein Gegendruck von je 50 t geleistet werden, der durch unmittelbar wirkende Schrauben ausgeübt werden soll; bei der Ausführung werden statt ihrer vielleicht Keilvorrichtungen oder mittels Wasserdruckes betriebene Winden angeordnet. Es werden die näheren Bedingungen mitgeteilt, in welchen als Öffnungszeit 1 Minute, als Material für die Hauptträger mittelweicher, für die Fahrbahntafel weicher Stahl vorgeschrieben ist. — Ebenda selbst S. 550: Kurze Mitteilung über einen Unfall bei der Gründung des Drehpfeilers, durch Losreißen und Fortschwimmen des Senkkastens desselben.
74. *Die Drehbrücken des Nord-Ostsee-Kanales (Kaiser Wilhelm-Kanal). Loewe, Festschrift zur Eröffnung des Nord-Ostsee-Kanales, 1895, S. 30, Brücken und Fahren, mit Taf. 14 u. 15.
 B. Gerdau, Die Drehbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal. Stahl und Eisen 1895 I, S. 190, mit Abb. und Taf. 4.
 Reverdy, Bauausführung des Nord-Ostsee-Kanales, mit kurzen Erläuterungen. II. Lief. Taf. 70, 77 u. 96.
 Fr. Eiselen, Der Nord-Ostsee-Kanal (Brücken). Deutsche Bauz. 1895, S. 173, mit Abb.
 Sympher, Die Vollendung des Nord-Ostsee-Kanales. Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 272, mit Abb.
 Koch, Die Drehbrücken über den Kaiser Wilhelm-Kanal. Zeitschr. f. Bauw. 1896, S. 69, mit Abb. und 2 Doppeltafeln 14/15 u. 16/17. Eingehendste Beschreibung in deutscher Sprache.
 North-East-Sea Canal. Engineering 1895 II, S. 234, mit Doppeltafel. Eingehendste Beschreibung in englischer Sprache.
 Railway swing bridge over the Baltic Canal at Rendsburg. Engineer 1895 II, S. 127, mit Abb. und S. 142, ohne Abb., woselbst letzterer Brücke mit den Worten: „Sie sticht durch ihre gefällige Leichtigkeit gegen die bei uns gebauten Drehbrücken ab“, eine schöne Anerkennung ausgesprochen wird.
75. *Drehbrücke mit Druckwasserbetrieb im Ruhrorter Hafen. Beyerhaus, Zeitschr. f. Bauw. 1895, S. 537, mit Taf. 69–71.
76. Prahm-Drehbrücke in Holtenau. Sympher, Die Vollendung des Nord-Ostsee-Kanales. Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 273. Kurze Mitteilung, daß diese Brücke nach den Angaben des Geh. Baurats Fülcher nach ganz neuer Anordnung gebaut wurde.

Deutsche Bauz. 1895, S. 175. Kurze Bemerkung.

The hydraulic swing bridge over the North-East Canal. Engineering 1895 II, S. 238. Fragliche Brücke (prame bridge) besteht aus 2 Flügeln, jeder in einem Boote schwimmend, die im geschlossenen Zustand einen stumpfen Winkel bilden; sie wird durch Petroleummotoren betrieben. Weitere Mitteilungen über dieses beachtenswerte Brückensystem wurden leider nirgends veröffentlicht.

77. Drehbrücke über die Lothse bei Harburg. Schelten, Zeitschr. f. Bauw. 1896, S. 275, mit Taf. 36. Die 38,44 m lange Drehbrücke (2 Durchfahrten von je 15 m) ist als Blechträger mit wagrechtem Ober- und geknicktem Untergurt nach Schwedler's System ausgebildet. Trägerhöhe 1,50 m bezw. 1 und 0,82 m. An die 5 m breite Fahrbahn schliessen, auf Kragarmen lagernd, 2 Fußwege, je 1,50 m breit; erstere aus Kieferntragbohlen (12 cm), darauf Holzpflaster aus *pitch-pine*-Klötzen (10 cm); letztere aus kiefernen Bohlen (5 cm). Der Eisenüberbau wurde aus basischem Martin-Siemens-Flusseisen hergestellt; Gewicht desselben, ausschliesslich aller Maschinenteile, 66,5 t, Belag 53,5 t, insgesamt 120 t. Am einen Ende ist eine selbstthätig wirkende Einklinkvorrichtung mit Puffer, die vor Beginn der Drehung mittels Hebelzuges auszuschalten ist, angebracht. Als Motor dient eine zweipferdige Gaskraftmaschine, bezw. doppeltes Vorgelege mit Handbetrieb. Die Maschinenanlage befindet sich in einem gusseisernen Gehäuse über dem Drehpfeiler, wasserdicht abgeschlossen und ist mit 15 seitlichen und 8 Oberlicht-Fenstern versehen. Der Maschinist wird durch den Hafenaufseher befehligt, während an jedem Brückenende ein Mann die Sperrketten zu schliessen und den Landeverkehr zu überwachen hat. Eine vollständige Brückenbewegung erfordert 260 Sekunden. Die Mittelstütze der Hauptträger ist um 15 mm überhöht. Kosten: Eiserner Überbau 26900 M., maschinelle Einrichtung 17000 M.

78. Swing bridges in the port of Marseilles (de la Joliette). Engineering 1896 I, S. 709, mit Abb. Es wird eine kurze Übersicht über die im Hafen ausgeführten beweglichen Brücken gegeben und besonders der in neuerer Zeit ausgeführten Erwähnung gethan. Die im Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. S. 124 unter No. 31 aufgeführte und auf Taf. III, Fig. 23 nur in Linien dargestellte Strassen- und Bahnbrücke wird an der Hand deutlicher Zeichnungen, besonders des mittels Wasserdruckes beweglichen Drehzapfens, eingehend beschrieben.

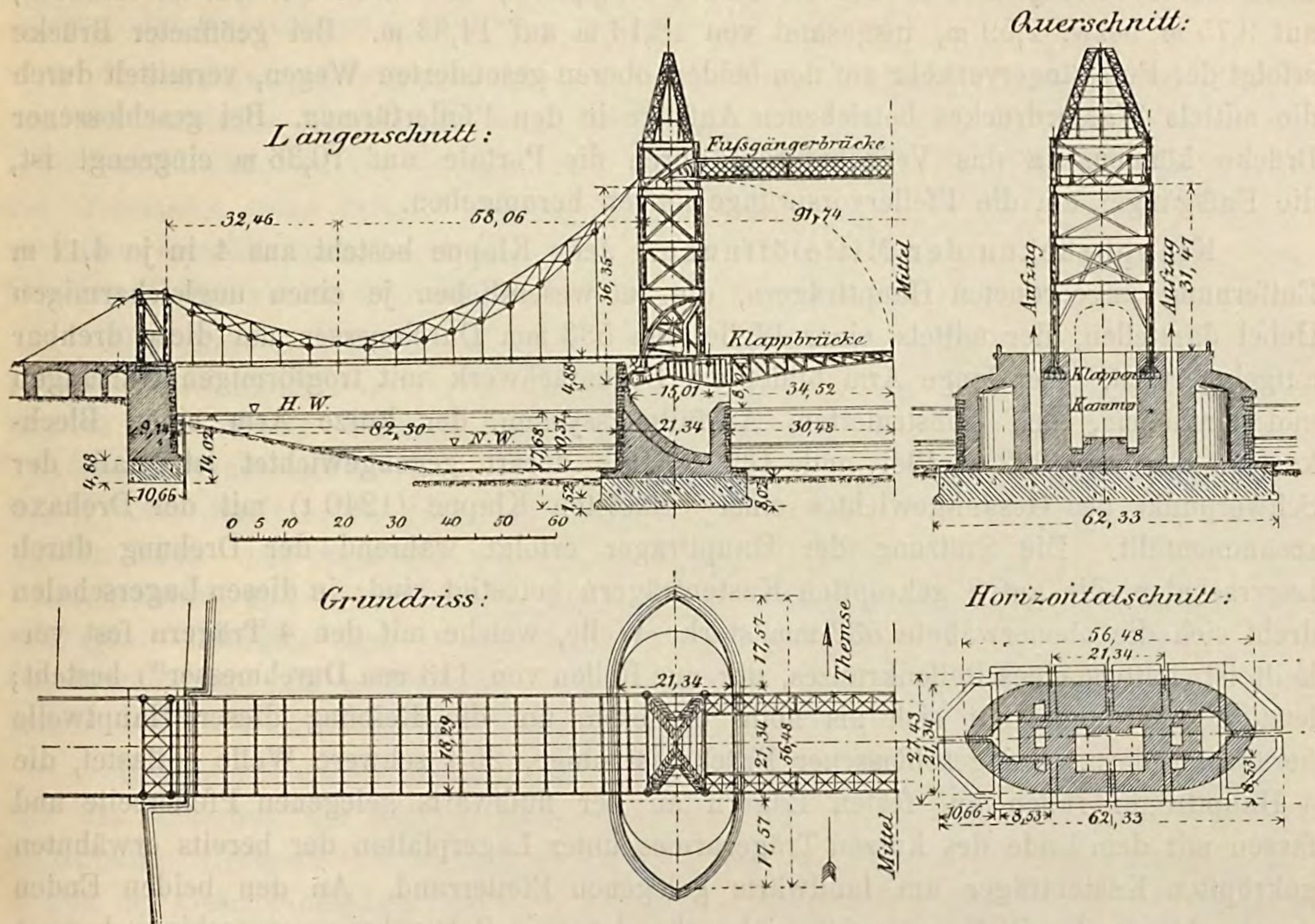
II. Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken.

Eine Gruppierung der soeben genannten Brückengattungen nach Ländern, ähnlich wie sie für Drehbrücken aus Gründen, deren Zweckmässigkeit der am Schluss des vorliegenden Heftes gegebene Vergleich der verschiedenen Systeme neuerer beweglicher Brücken darthun dürfte, durchgeführt wurde, ist hier nicht nötig, da einerseits das System der gewöhnlichen Klappbrücken nicht neu ist, sondern blofs durch die aufsergewöhnlichen Abmessungen, sowie die Art und Weise seiner Verwendung bei der Tower-Brücke in London wieder hervorragende Bedeutung erlangt hat, andererseits die neuen Systeme der „Falt- und Schaukelbrücken“ Anordnungen zeigen, die, in den Vereinigten Staaten Nord-Amerika's sowohl erdacht, als auch konstruktiv durchgebildet, bisher daselbst allein ausgedehnte praktische Verwendung gefunden haben.

a. Die Tower-Brücke über die Themse in London [Litt. 2].

Fig. 62 zeigt die Hauptabmessungen dieses aufsergewöhnlichen Bauwerkes, dessen Beschreibung, sollte der Rahmen des vorliegenden Heftes nicht erheblich überschritten werden, auf das knappste gehalten werden mufste. Anhaltspunkte für eingehenderes Studium bietet der Litteraturnachweis.

Fig. 62. Tower-Brücke über die Themse in London.



Allgemeine Anordnung. Die fast genau 800 m lange Brücke gliedert sich in die beiden überwölbten Zufahrten (mitwirkend als Ankerungskörper der schrägen Endspannketten), die 2 festen Aufsenöffnungen (dreigelenkige, ungleichschenkelige Kettenfachwerke), die bewegliche untere Mittelloffnung (mit den beiden Klapparmen) und die durch einen leeren Zwischenraum getrennten (Fig. 62, Grundriss) beiden oberen, festen Fußgängerbrücken, welche als Kragträger (17,98 m) mit frei eingehängtem Mittelfeld (36,19 m lang) ausgebildet wurden. Zur Stützung der Aufsenöffnungen dienen die Stahltürme über den Widerlagern und Zwischenpfeilern, auf deren Köpfen die Kettenfachwerke wagrecht verschieblich aufgelagert sind, deren wagrechte Zugkraft zwischen den beiden Pfeilertürmen durch ein besonderes Zugglied, in Höhe des Untergurtes der Fußgängerbrücke liegend, aufgenommen wird. Das gesamte Tragwerk ist allein an dem südlichen und nördlichen Brückenende mittels der schrägen Spannketten fest verankert, über allen Pfeilerauflagerpunkten wagrecht verschieblich angeordnet; es ist demnach nur für das Eigengewicht (symmetrische Belastung) bezüglich der Auflagerkräfte im Gleichgewicht; bei ungleichmäßiger Belastung oder ungleicher Erwärmung tritt, da es statisch einfach überbestimmt und einfach verschieblich ist, eine Verschiebung der Auflager ein, die dadurch aufgehoben wird, daß noch ein Gelenkpunkt des Tragwerkes durch einen besonderen Versteifungsträger festgehalten wird, indem durch letzteren eine unverschiebliche Verbindung des Scheitelgelenkes der südlichen Aufsenöffnung mit einem festen Punkte des südlichen Uferpfeilers hergestellt ist.¹⁸⁾

¹⁸⁾ Barkhausen, Die neue Brücke über die Themse in London. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 518.

Die Fahrstraßenbreite beträgt 10,67 m; beiderseits sind 3,73 m breite Fußwege; diese Maße verringern sich für die beiden Klappteile, um deren Gewicht zu mindern, auf 9,75 m bzw. 2,59 m, insgesamt von 18,13 m auf 14,83 m. Bei geöffneter Brücke erfolgt der Fußgängerverkehr auf den beiden oberen gesonderten Wegen, vermittelt durch die mittels Wasserdruckes betriebenen Aufzüge in den Pfeilertürmen. Bei geschlossener Brücke können, da das Verkehrsprofil durch die Portale auf 10,36 m eingeengt ist, die Fußgänger um die Pfeilervorsprünge außen herumgehen.

Klappbrücken der Mittelöffnung. Jede Klappe besteht aus 4 in je 4,11 m Entfernung angeordneten Hauptträgern, die im wesentlichen je einen ungleicharmigen Hebel darstellen, der mittels einer Welle von 533 mm Durchmesser um diese drehbar aufgelagert ist. Der lange Arm bildet ein Bogenfachwerk mit trogförmigen Gurtungen und einfachem, steif konstruiertem Ausfüllungssystem, der kurze Arm einen Blechkasten, der mit 322 t Blei und 132 t Guß derart gegengewichtet ist, daß der Schwerpunkt des Gesamtgewichtes einer belasteten Klappe (1240 t) mit der Drehaxe zusammenfällt. Die Stützung der Hauptträger erfolgt während der Drehung durch Lagerschalen, die auf 8 gekröpften Kastenträgern befestigt sind; in diesen Lagerschalen dreht sich die oben erwähnte 533 mm starke Welle, welche mit den 4 Trägern fest verkeilt ist, mittels eines Rollenkranzes, der aus Rollen von 113 mm Durchmesser¹⁹⁾ besteht; letztere Anordnung hat sich als nötig erwiesen, um die Reibung dieser Hauptwelle herabzumindern. Bei geschlossener Brücke ist obige, 25 t schwere Welle entlastet, die 4 Hauptträger ruhen auf festen Lagern an der flußwärts gelegenen Pfeilerseite und fassen mit dem Ende des kurzen Trägerarmes unter Lagerplatten der bereits erwähnten gekröpften Kastenträger am landwärts gelegenen Pfeilerrand. An den beiden Enden der durchlaufenden Welle sitzen Getriebe, die durch je 2 Druckwassermaschinen bewegt werden; die Drehung der Klappen selbst wird durch Zahnbogen (einen Viertelkreis umfassend), die auf den äußersten Hauptträgern befestigt sind (Fig. 62, Längenschnitt), bewirkt.

In der Mitte der Mittelöffnung verhindern 127 mm starke Riegel, die durch Brückenvärter vom Pfeiler aus mittels Wasserdruckes gesteuert werden, ungleichmäßige elastische Bewegung der beiden Klappbrücken bei einseitiger Verkehrsbelastung. Der Schluß der Fahrbahntafel wird lediglich durch möglichst enge Ausbildung der lotrechten Fuge in der Fahrbahntafel und oberen Abschluß derselben durch eine wagrechte, um ein Scharnier drehbare Platte herbeigeführt. Bei den Zwischenpfeilern liegt die Fuge außerhalb der Drehachse und konnte daher nicht mehr lotrecht gestaltet werden. Der Abschluß erfolgte durch eigens geformte, jedoch einfache Gußkasten und oben mit wagrechten Platten in Scharnieren.²⁰⁾ Die Anordnung für die Außenöffnungen, unter dem Scheitelgelenk der Kette und unter den Pfeileranschlüssen, ist in anderer Art (nur wagrecht verschieblich) getroffen worden.²¹⁾

Das Einbringen der Klappen war eine sehr schwierige Arbeit, infolge der außergewöhnlichen Gewichte der einzelnen Stücke. Die Fahrbahntafel der Klappen ist abweichend wie bei den Außenöffnungen ausgebildet, Fuß- und Fahrweg sind mit aufwärts gewölbten Buckelplatten abgedeckt und hierauf ruht die Holzpflasterung.

Die Klappen erhielten durch die in 3,66 m Entfernung eingesetzten Querträger, sowie durch steife Kränze zwischen diesen und den Hauptträgern, und durch die Buckel-

¹⁹⁾ J. E. Tuit, The Tower bridge. London 1894. S. 86, Fig. 50.

²⁰⁾ Barkhausen, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 544, Fig. 72.

²¹⁾ J. E. Tuit, S. 92, Fig. 63.

plattenabdeckung eine sehr große seitliche Steifigkeit. Bei den Aufsenöffnungen wurde von der Anordnung eines eigentlichen Windverbandes abgesehen und die steife Durchbildung der Fahrbahntafel genügend wirksam erachtet.

Ausrüstung mit Maschinen und Betrieb der Brücke. Während bestimmter, von den Behörden festgesetzter Zeiten muß die Brücke dauernd geöffnet bleiben. Das Öffnen und Schließen der Klappen (bei 914 mm Randgeschwindigkeit derselben), sowie die Durchfahrt eines Schiffes benötigt je 1 Minute, sodaß die Störung des Straßenverkehrs, einschließlich Leeren der Klappen, für 1 Schiff 5 Minuten dauern wird. Der Schiffsverkehr hat vor dem Straßenverkehr stets den Vorzug.

Die ganze Maschinenausstattung, einschließlich Kesselanlage, Pumpen, Leitungen, Druckwassersammler u. s. w. ist doppelt vorhanden. Die Dampfpumpmaschine für den Antrieb der mittels Wasserdruckes wirkenden Bewegungsmaschinen sind wagrechte Tandem-Verbundmaschinen von 360 Pferdekraften. Der zweite Maschinensatz läuft immer leer, damit er in jedem Augenblick, auch während des Ganges, eingeschaltet werden kann. Die Steuerung der Brücke erfolgt zweifach: 1. mittels Hebel durch den Brückenwärter, und 2. selbstthätig, um Unfällen infolge von Irrungen des letzteren vorzubeugen. Überdies sind Druckwasserpuffer thätig, ähnlich wie sie sich bei 100 t-Geschützen mit 1,22 m Rücklauf bewährt hatten; von deren Leistungsfähigkeit wird jedoch, bei 1524 mm/Sekunden Randgeschwindigkeit der Klappen, nur $\frac{1}{5}$ ausgenutzt.

An jedem Ende der beiden Brückenpfeiler befinden sich Wärterstuben, von welchen aus die Steuerung der Klappbrücken bethätigt wird und in denen die Wärter durch selbstthätig wirkende Vorrichtungen Kenntnis erhalten: 1. Von der Klappenstellung, 2. von der Geschwindigkeit und dem Gang der Antriebsmaschine, 3. von der Stellung der Druckwassersammler und 4. von der Stellung der 4 Brückenriegel in der Brückenmitte. Vor der Öffnung der Brücke wird in den Pfeilertürmen die Straße mittels einer Kette durch einen Polizeimann gesperrt; erst wenn die Kette in einen Haken eingehängt ist, kann der Hahn geöffnet werden, der Druckwasser zu einem Spanncylinder für die Kette zuläßt, wodurch allein die Steuerhebel in den 4 Wärterstuben entriegelt werden. Nachts wird die Brückenstellung durch besondere Lampen kenntlich gemacht. Da die Hauptwelle nur rollende Reibung zu überwinden hat, infolge der früher beschriebenen Anordnung der Rollenlager, sind die Widerstände beim Öffnen der Brücke sehr gering; bei einem Winddruck von 273 kg/qm, der einer Kraft von 142 t mit 17 m Hebellänge wirkend entspricht, können die Maschinen den erzeugten Widerstand noch in 1 Minute bewältigen; auch die Aufhebung der lebendigen Kraft am Schlusse der Bewegung erfolgt mit geringem Kraftaufwand.

4 Kessel von 2,3 m Durchmesser und je 9,14 m Länge sind in einem Gewölbe in der südlichen Zufahrt aufgestellt; in einer anderen befinden sich die Kohlenlager, durch ein Schmalspurgeleise mit dem Ufer verbunden. Zwei weitere Gewölbe enthalten die Pumpen, deren jede 2 Hochdruckcylinder von 482 mm und 2 Niederdruckcylinder von 940 mm Durchmesser und 965 mm Hub besitzt. Die Taucherkolben dieser Pumpen haben denselben Hub bei 197 mm Durchmesser. In einem besonderen Gebäude, auf der einen Seite dieser Zufahrt, steht das Haus für die Druckluftsammler von 508 mm Durchmesser und 49 bis 56 Atm. Spannung. Von hier aus wird das Druckwasser durch 2 Leitungen von je 152 mm Durchmesser zum südlichen Pfeilerturm und von hier unter der Fußgängerbrücke bis zu den hydraulischen Maschinen des nördlichen Pfeilerturmes geleitet; die Abwasser werden aus Gründen der Sparsamkeit, da die Benutzung des Themse-

wassers nicht statthaft ist, durch eine Leitung von 178 mm Lichtweite in das Kraftsammlerhaus zurückgeleitet.

Maschinelle Anordnung in einem der Zwischenpfeiler. Zwei völlig getrennte Maschinen, je eine in jedem der beiden Pfeilerköpfe, setzen die Hauptwelle mittels der Zahnbögen in Bewegung. Von diesen beiden Maschinen, von denen jede 2 Cylinder von 305 mm Hub und 190 mm Durchmesser des einen und 216 mm des anderen Cylinders besitzt, wird meistens nur die eine unter Druckwasser gestellt, alle beide gleichzeitig nur bei starkem Wind. Für die auf den Zahnbogen zu übertragende Kraft zur Überwindung aller Reibungswiderstände bei einem größten Winddruck von 273 kg/qm genügen 190 t. In jedem Pfeilerkopf ist unter der Maschine zur Druckausgleichung je ein Kraftsammler (559 mm Durchmesser) aufgestellt; durch eine auf dem Boden des kurzen Trägerarmes geführte Leitung sind letztere miteinander verbunden.

Personenaufzüge in den Pfeilern. In jedem Pfeilerkopf sind, von aussen zugänglich, zwei mittels Wasserdruckes betriebene Aufzüge mit Fassungsräumen von (4,27 m lang, 1,67 m breit und 2,74 m hoch =) 19,5 cbm Inhalt, die durch 4 Drahtseile von 32 mm und 2 Drahtseile von 23 mm Durchmesser geführt werden. Alle Seile laufen über Seilscheiben von 1,30 m Durchmesser, wobei die 2 dünneren das Bleigegengewicht für die leeren Kabinen tragen, die 4 stärkeren über Flaschenzugscheiben von 914 mm Durchmesser gehen, die mit den 254 mm starken, lotrechten Kolben der Druckwassercylinder verbunden sind. In einer Stunde können 25 Hübe von 33,5 m ausgeführt werden.

Massen, Kosten und Allgemeines. Für den vollständigen Bau, 800 m lang, bei einer größten Turmhöhe von 89,3 m über der Gründungslagerfläche, wurden verbraucht: 6650 cbm Granit und Hausteine, 21600 t Cement, 53500 cbm Beton, 31 Mill. Backsteine, 14450 t Eisen, Flusseisen, Stahl und Guß und 590 t Blei.

Die Kosten betrugen (nach Barkhausen):

End- und Zwischenpfeiler bis 1,22 m über Hochwasser	2 650 000 M.
Nordrampe, einschliesslich Ankerträger	1 065 000 „
Gusseisengeländer der Nordrampe	113 000 „
Südrampe, einschliesslich Ankerträger	774 000 „
Druckwassermaschinen-Anlage	1 720 000 „
Eisen und Stahl des Überbaues	6 810 000 „
Mauerwerk der Pfeilertürme von 1,22 m über dem Hochwasser aufwärts	3 020 000 „
Pflasterung und Beleuchtung	612 000 „

insgesamt . . . 16 764 000 M.,

oder 21000 M. für 1 m Bauwerkslänge.

Die Betriebskosten wurden wie folgt veranschlagt: Maschinenbetrieb, einschliesslich 2 Brückenmeister für Tag- und Nachtdienst, 2 Maschinisten, 2 Heizer, 4 Brückenarbeiter und die Bedienung für die Aufzüge einschliesslich Kohlen und Verbrauchsgegenstände 32320 M.; 8 Polizeibeamte 10906 M.; Reinigung, Sprengen und Beleuchtung 12605 M.; Ausbesserung und Anstrich 14140 M.; Entwertung der Maschine (2%) 34400 M.; zusammen 103371 M. Die Brücke wurde im Juni 1894 dem Verkehr übergeben.

Material des eisernen Überbaues (Steel Co. of Scotland). Bruchfestigkeit 4200 bis 4950 kg/qcm bei 20% Dehnung auf 203 mm Länge. Den Stahlüberbau hatte die Firma Sir William Arrol, Glasgow übernommen.

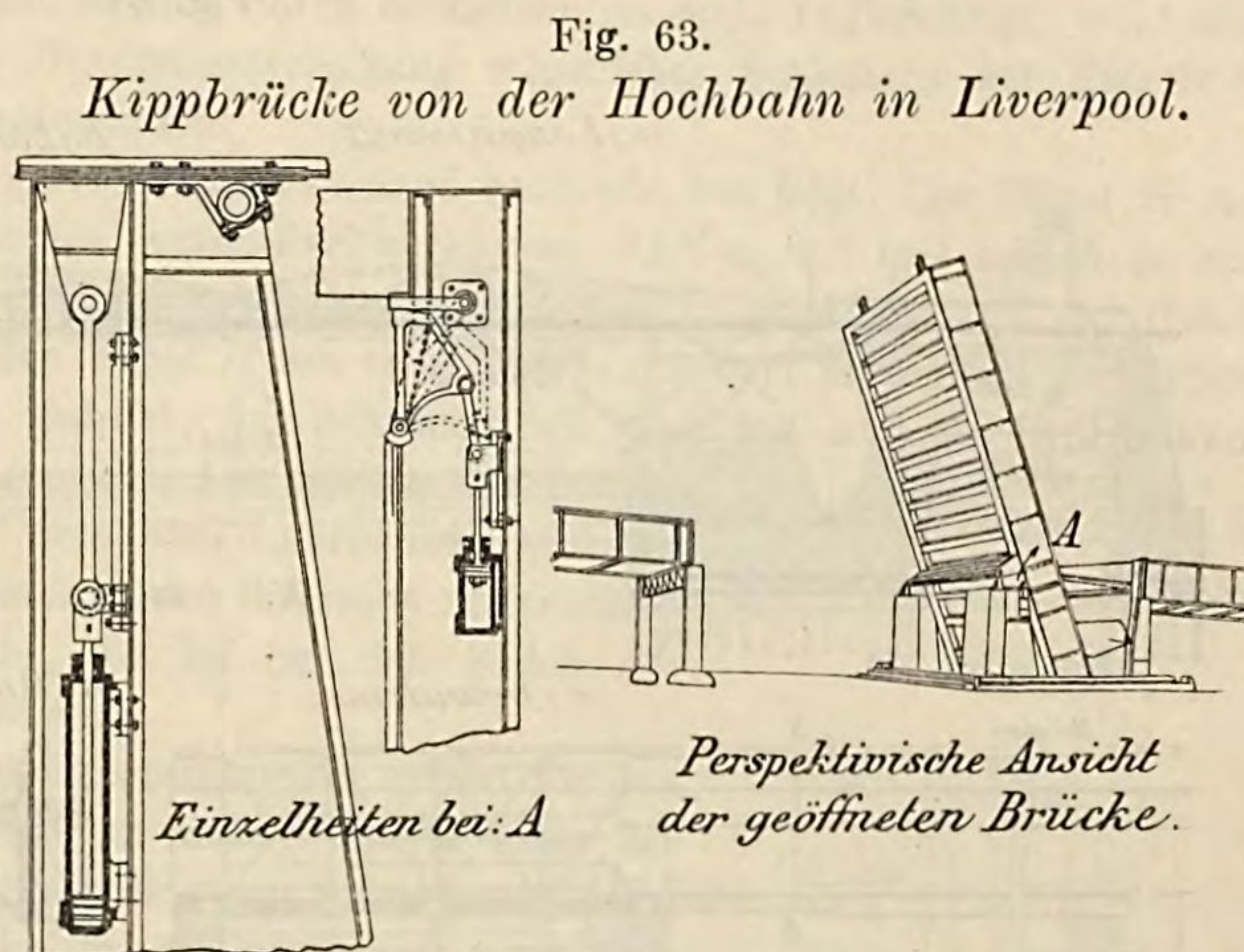
Die Herstellung und der Einbau der Maschine war der Firma Sir William Armstrong, Mitchel & Co., Newcastle-on-Tyne übertragen worden.

Die Gründung der Mittelpfeiler und des nördlichen Landpfeilers wurde von J. Jackson, die des südlichen Landpfeilers von T. Webster, London ausgeführt.

b. Kippbrücke der Liverpooler Hochbahn [Litt. 1].

Im Februar 1893 wurde in Liverpool eine Hochbahn in Betrieb gesetzt, die in ihrer ganzen Ausdehnung in 4,2 m Lichthöhe über die Straassenoberfläche geführt ist; in Straassen, welche einem besonders schweren Verkehr dienen (Marinekesselschickung u. s. w.) ist diese Höhe ungenügend und wurde ein entsprechender Verkehrslichtraum

durch die Huddlstone patentierten Schaukel- oder Kippbrücken (engl. *tilting bridge*, franz. *pont basculant*) gewonnen. Der ungleicharmige Hauptträger geht durchlaufend über zwei Öffnungsfelder; soll die Brücke geöffnet werden (Fig. 63), so dreht sie sich um die Angel des dazwischen liegenden Pfeilers, wobei der kurze Arm, der durch Ballast gegengewichtet ist, in eine Grube hinabsinkt; diese Grube ist zwar ein Übelstand, läßt sich jedoch bei der geringen Höhe der Hauptträger über der Strafe nicht vermeiden, da man mit den Längenabmessungen des kurzen Armes mit Rücksicht auf das Gegengewicht nicht unter gewisse Grenzen gehen kann. Die Bewegung der Brücke geschieht mittels Wasserdruckes mit den aus Fig. 63 (Einzelheiten bei A) ersichtlichen Vorrichtungen.



Die Bewegung der Brücke geschieht mittels Wasserdruckes mit den aus Fig. 63 (Einzelheiten bei A) ersichtlichen Vorrichtungen.

Die erste Figur zeigt, in welcher Art durch den lotrechten, an dem Zwischenpfeiler befestigten, mittels Wasserdruckes bewegten Kolben die Brücke um die Angel am Kopf des Pfeilers gedreht wird (in Fig. 63 ist die Schlußstellung der eingedrehten Brücke dargestellt); die zweite Figur stellt die Feststellvorrichtung des kurzen Armes an dessen Ende dar und zwar: mit ausgezogenen Linien die Stellung der Feststellklappe für den festgehaltenen Brückenarm und mit gestrichelten Linien für den zum Niedergehen ausgelösten Brückenarm.

c. Klappbrücke in der Van Buren-Straße, Chicago (engl. *rolling lift bridge*, *rocking bascule bridge*, franz. *pont levis roulant*), [Litt. 6].

Dieselbe wurde an Stelle einer alten gleicharmigen Drehbrücke erbaut; da der Pfeiler der letzteren sich dem Verkehr sehr hinderlich erwiesen hatte, außerdem in aller nächster Nähe eine Eisenbahnbrücke über den Fluß führt, wurde vom Bau einer Drehbrücke ganz abgesehen und das vorliegende neue Brückensystem (Fig. 64) gewählt, bei welchem die Bewegung der Brücke nur in lotrechter Ebene erfolgt, wodurch der Mindestbedarf an verfügbarer Grundfläche erreicht ist.

Die Brücke setzt sich zusammen aus 2 voneinander vollständig unabhängigen Tragteilen (franz. *bascules*), die auf kreisförmigen Wangen (franz. *flasques*) frei ruhen und in geschlossenem Zustand eine fast wagrechte Fahrbahn bilden; für die freie Durchfahrt der Schiffe können die beiden Hälften in beinahe lotrechte Stellung gebracht werden; siehe die punktierte Stellung in Fig. 64 a u. b. Die Öffnung der Brücke erfolgt durch Drehung auf kreisförmig gestalteten, untereinander in feste Verbindung gebrachten Schuhen, die auf 3 gußeisernen gezahnten Laufbahnen rollend eine sichere Führung auf vorgeschriebenem Wege erhalten, indem die Zähne (Fig. 65) diese wagrechten Laufbahnen in Aussparungen an der Oberfläche der Schuhe eingreifen; dadurch wird zugleich jedes Gleiten sowohl in Längs- als auch seitlicher Richtung (Wind) verhindert. Die Zähne der Laufbahn wurden an den Auflagerflächen und Kanten gehobelt. Beim Öffnen oder Schließen beschreiben alle Teile der Brücke cykloide Bahnen.

Fig. 64 u. 65. Klappbrücke in der Van Buren-Straße zu Chicago.

Fig. 64.

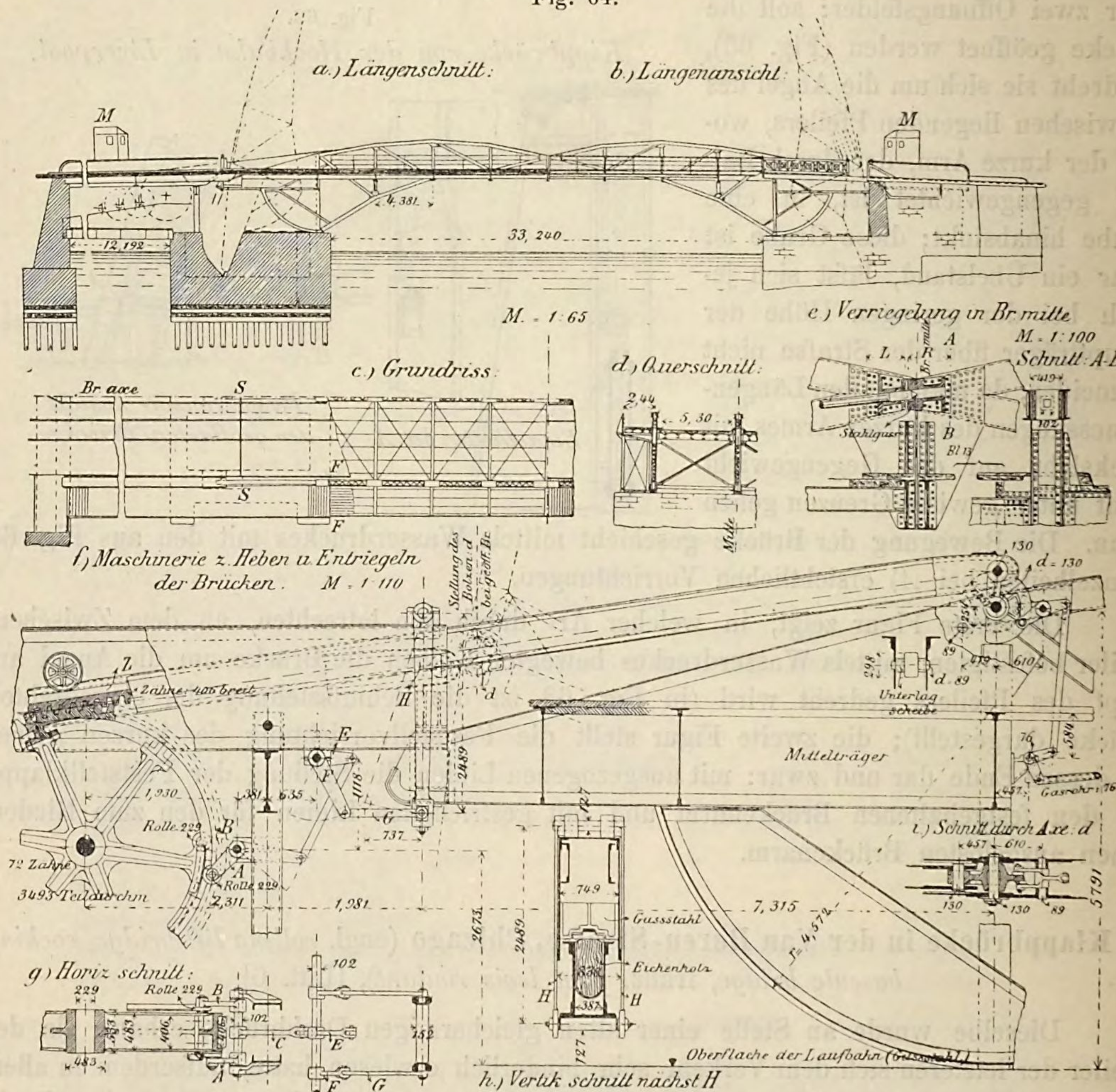
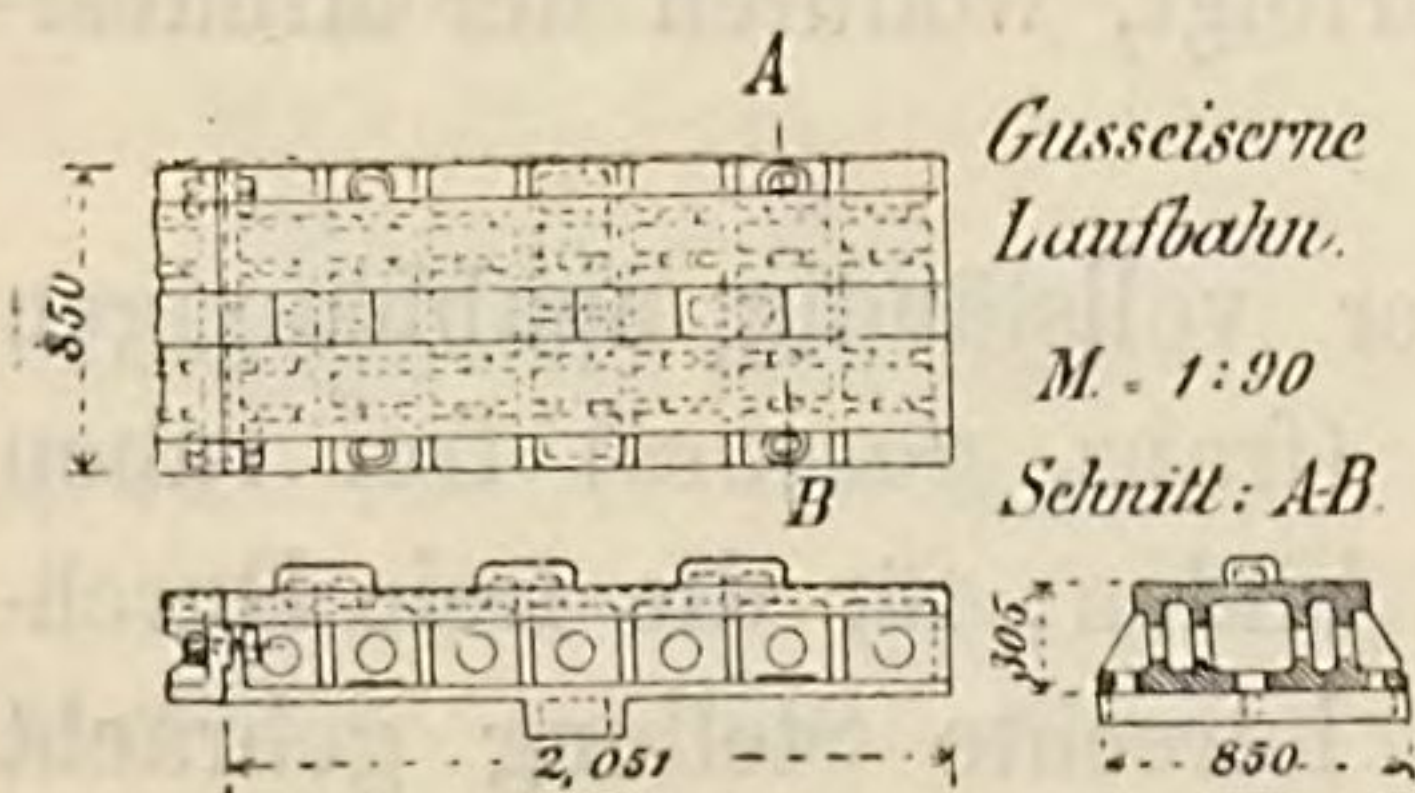


Fig. 65.



Die beiden Widerlager sind ungleich; das westliche ist vom Kai durch einen 12,19 m langen Zwischenraum, der als Unterkunftsraum der Maschinenanlage dieser Hälfte zu dienen hat, getrennt, während das östliche Widerlager in die Kailinie zu liegen kommt und daher aus einem Block gebildet ist. Der nötige Raum für die Maschinenanlage dieser Seite wurde durch Aussparungen im Mauerwerkskörper gewonnen. In beiden Widerlagern sind die Bewegungsmaschinen, Luftpumpen, Luftbehälter und anderen erforderlichen Maschinen unabhängig voneinander angeordnet, sodass jede Brückenhälfte eine für sich unabhängige Anlage bildet.

Jeder der 3 Hauptträger einer Brückenhälfte ist als selbständiger Fachwerksträger ausgebildet und unten mit einem Viertelkreisbogen verbunden; letzterer dient als Auflager, ferner aber auch, in Verbindung mit dem rückwärtigen Schwanzstück (für das bei aufgedrehter Brücke im Mauerwerk eine entsprechende Nische ausgespart war, Fig. 64 a) unter Mitwirkung des daselbst unter der Fahrbahntafel aufgehängten Ballastes als Gegengewicht für den eigentlichen Brückenarm.

Die Bewegung der Brücke wird durch ein Hebelwerk mit Zahnstangengetriebe herbeigeführt, wobei die Haupttriebstange nicht unmittelbar am Fachwerksträger, sondern mittels eines um eine Axe beweglichen Bügels mit letzterem in Verbindung gebracht ist. Dieser Bügel wird durch ein Hebelwerk in

Thätigkeit gesetzt (Fig. 64 *f*, *i*). Im geschlossenen Zustand sind beide Brückenhälften, um lotrechte elastische Bewegungen bei einseitiger Belastung zu verhindern, durch einen Riegel verbunden, der in Stahlbüchsen geführt ist (Fig. 64 *e*); eine Kraftübertragung durch denselben ist nicht beabsichtigt, wohl aber innerhalb gewisser Grenzen, soll ein für die Brückenunterhaltung schädliches Schlottern des Riegels in der Büchse hintangehalten werden, ganz unvermeidlich.

Die Hauptverriegelung der Brücke in geschlossenem Zustand geschieht wie folgt: Der Bügel *H* umfaßt (vergl. Fig. 64 *f* u. *h*) das Schwanzende des kurzen Fachwerkarmes, hält es fest und schafft so eine weitere Stützung für die geschlossene Brücke. Soll die Brücke ausgedreht werden, so wird durch das Hebelwerk (Fig. 64 *f* u. *g*) *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G* der Bügel *H* um seine obere, mit dem festen Teil der Brücke verbundene, wagrechte Axe nach rückwärts gedreht; das Schwanzstück wird frei und die Brücke kann mittels des Zahnstangengetriebes aufgedreht werden. Ein Gleiten der Brücke hierbei ist durch die bereits beschriebenen 3 gezahnten Laufbahnen wirksam verhindert. Die Träger, durch welche die Schwanzstücke ihrerseits festgehalten werden, sind durch sehr kräftige Ankerstäbe, die bis auf den Boden des Mauerwerkes reichen, mit letzterem fest verbunden.

Die Trennung des festen und beweglichen Brückenteiles erfolgt für den Fahrweg nach der Fuge *S S*, für die Fußwege an anderer Stelle längs der Fuge *F F* (Fig. 64 *c*); dies hat eine verschiedene Bewegung des beweglichen Fahrweg- bzw. Fußwegteiles in Bezug auf den festen Brückenteil zur Folge; in den Fig. 66 *a* (für den Fahrweg) und Fig. 66 *b* (für den Fußweg) ist diese entgegengesetzt gerichtete Bewegung, sowie die ganze Durchbildung dieser Fugenabschlüsse aus geripptem Stahlblech und hohlen Stahlgußbüchsen, die sich auf die ganze Brückenbreite erstrecken (für die rechte Brückenhälfte) zur Darstellung gelangt.

Die Brücke selbst wird elektrisch betrieben. Auf jedem der beiden Ufer stehen 2 Dynamomaschinen von je 50 Pferdekraften und sind mit der gemeinsamen Hauptwelle mit vielfacher Übersetzung gekuppelt, sodafs sie einzeln oder nach Bedarf (Wind) gemeinsam wirken. Auf dieser Hauptwelle sitzt auch, an beiden Enden, eine selbstthätige Bremse für den Fall von Störungen in der Maschinenanlage. Preßluft versorgt die Nebenanlagen der Brücke und wird vom westlichen Widerlager aus, das mit dem östlichen durch unterirdische eiserne Kanäle verbunden ist, den Abschlußthoren, den die Brückenstellung anzeigenden Signalen und den selbstthätigen Bremsvorrichtungen zugeführt. Die Preßluft wird durch auf der Hauptwelle sitzende Excenterscheiben mittels Luftpumpen in Behälter gedrückt, und von diesen aus in der beschriebenen Weise den Nebenanlagen zugeleitet.

Am Ende jeder Zufahrt befindet sich das Maschinenhaus *M* (Fig. 64 *a* u. *b*), in welches alle elektrischen Kabel und Druckluftleitungen einmünden. Alle Getriebe und Hauptbewegungsteile sind aus Gußstahl; nur die Speichen und Naben der Zahnräder, sowie die Achslager wurden aus Gußeisen gefertigt. Der ganze Brückenbau wurde innerhalb eines Jahres (Anfang 1894 bis Anfang 1895) ausgeführt und kostete einschließlic der Zufahrten, Maschinen, elektrischen Ausrüstung, Maschinenhäuser und allem Zubehör 712740 M. (1 Dollar = 4,20 M.), oder bei einer Gesamtlänge von 74 m und 18 m Breite 534 M./qm bzw. 9618 M./m Brückenlänge.

M. Scherzer, der Erfinder dieses Systemes, starb wenige Monate, nachdem es ihm patentiert worden war.

d. Klappbrücke mit wagrechter Schwerpunktslage in der 16. Strafe in Milwaukee (engl. *lift bridge*, franz. *pont levis*) [Litt. 10].

Diese Brücke bildet den Teil eines 1219 m langen und 18,29 m breiten Viaduktes, übersetzt in 11,85 m Höhe über der Wasserlinie den mit Segelschiffen befahrenen Menominee-Kanal und läßt in geöffnetem Zustand einen (nach oben hin unbegrenzten) lichten Raum von 20,73 m Weite frei. Der beiderseits der Brücke gelegenen Dockanlagen halber war der Bau einer Drehbrücke ausgeschlossen. Fig. 67 *a* giebt eine schematische Übersicht der Brücke in geschlossenem und offenem Zustand, aus der am einfachsten die Wirkungsweise der neuen Anordnung sich übersehen läßt.

Fig. 66. Klappbrücke in der Van Buren-Strafe zu Chicago.

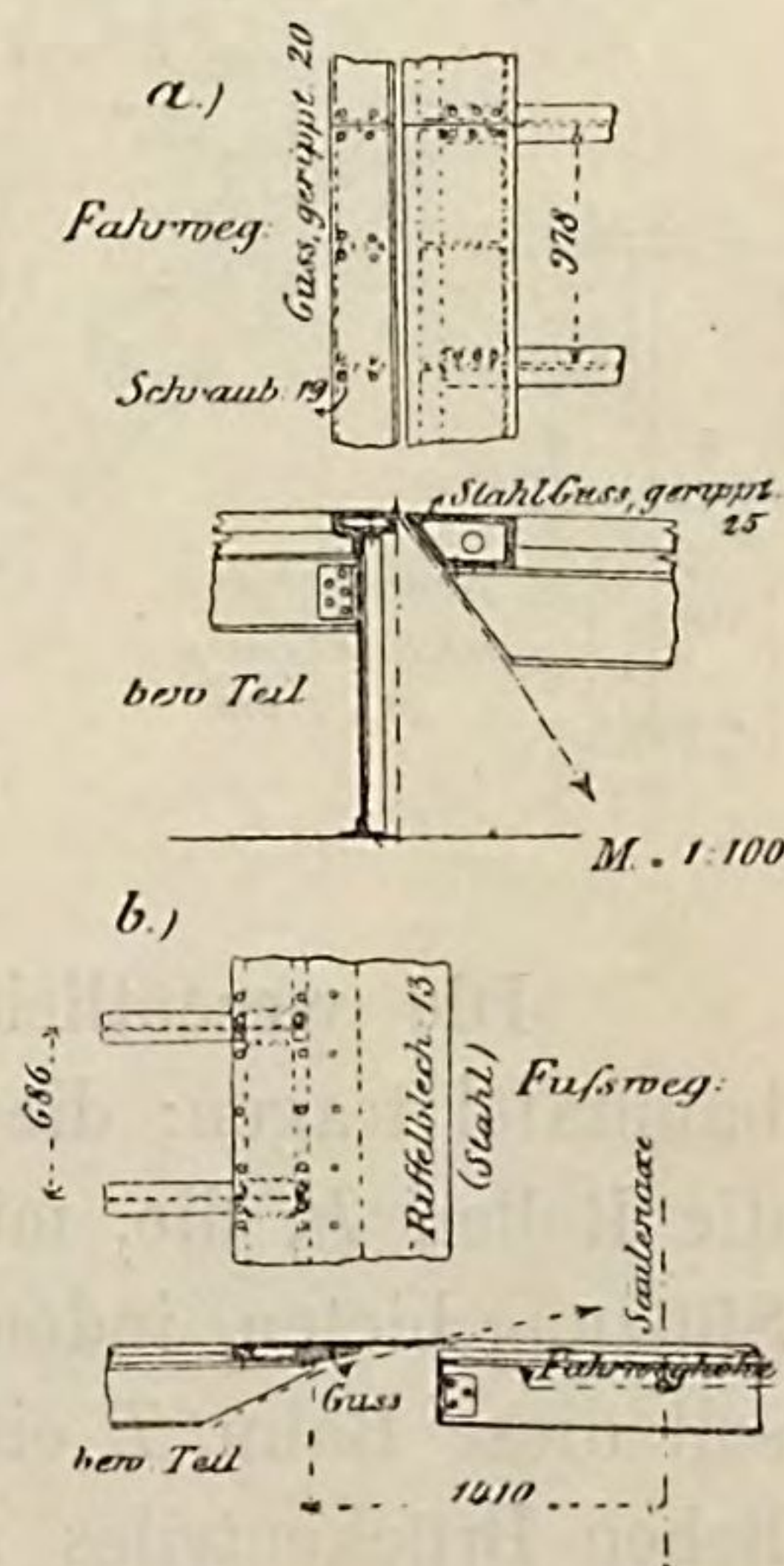
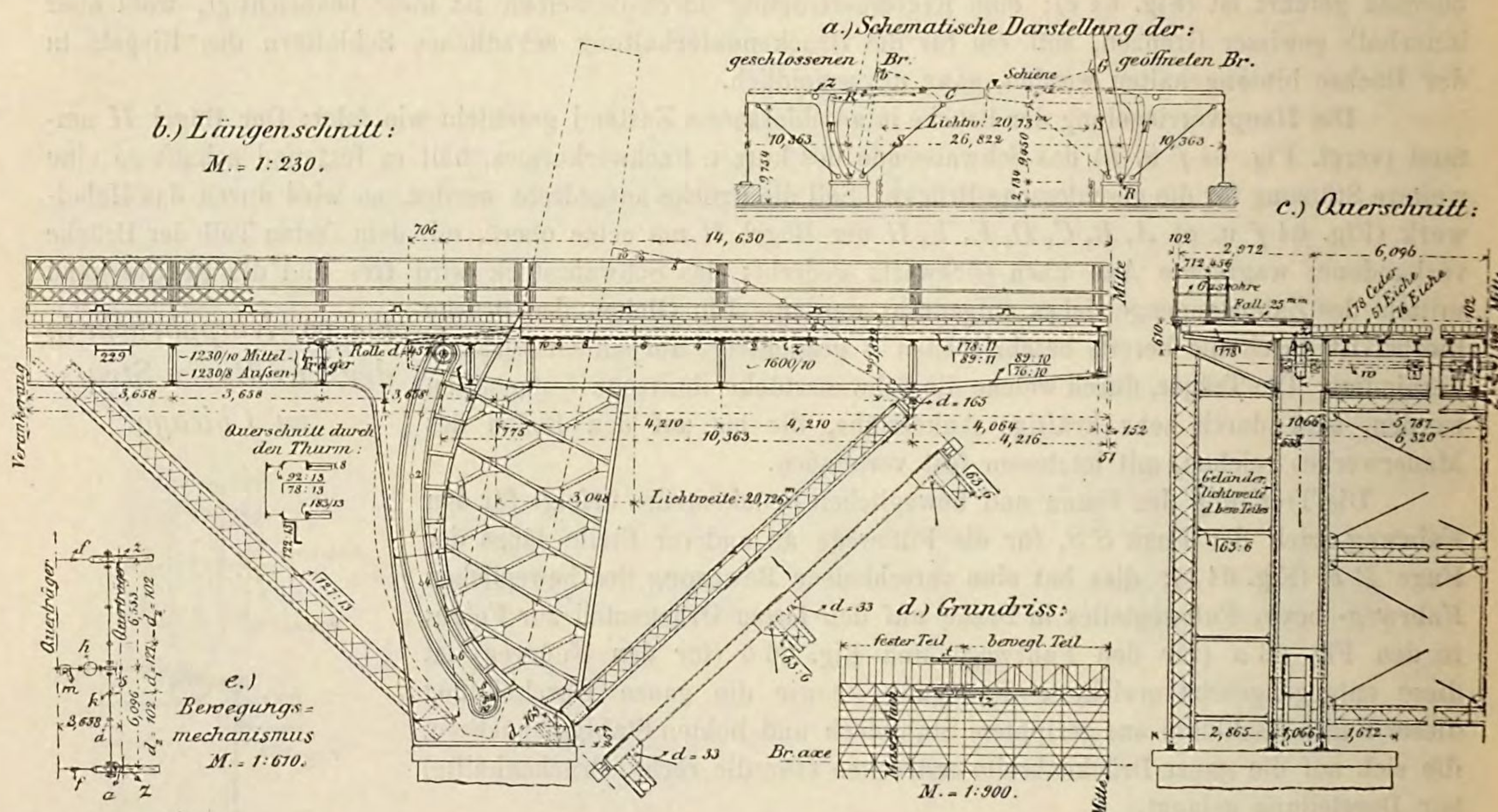


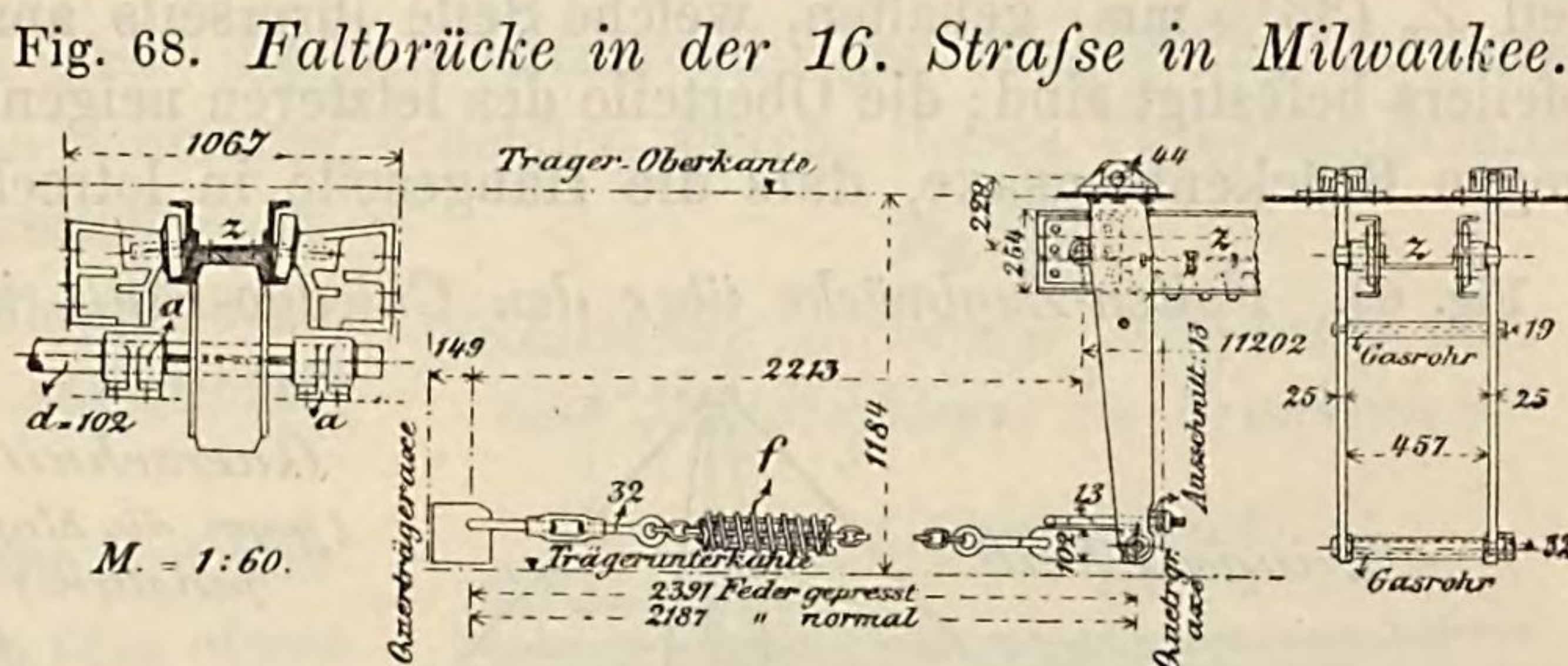
Fig. 67. *Faltbrücke in der 16. Strasse in Milwaukee.*



Die wesentlichen Teile jeder Hälfte sind: die Hauptträger G , welche die Fahr-
bahntafel tragen; die Streben S , welche die Hauptträger gegen die Mitte zu stützen und
die Rollen R , die, mit den Hauptträgern unverschieblich verbunden, ihnen eine weitere
Stützung bieten, indem sie dieselben auf einer festen Bahn T zwangsläufig führen. Hierbei
soll diese Bahn T eine solche Krümmung erhalten, daß der Schwerpunkt des beweg-
lichen Brückenteiles sich von der Brückenmitte gegen die Ufer hin (beim Öffnen) nur
in wagrechter Richtung verschiebt und dabei die durch die Rolle R gehende Resultante
aus dem Gewicht des beweglichen Teiles G und dem Druck der Strebe S für jede
beliebige Stellung des Hauptträgers senkrecht steht auf der Tangente an das zugehörige
Kurvenelement der Leitbahn T ; dadurch wird erreicht, daß beim Öffnen und Schließen
der Brücke der bewegliche Teil stets im Gleichgewicht sich befindet, mithin
keinerlei tote Last gehoben, sondern allein die Reibungswiderstände überwunden
werden müssen. In der Fig. 67 b sind die gleichzeitigen Stellungen des Strebenkopfes
und der hinteren Führungsrolle R mit denselben Zahlen bezeichnet. Da selbstverständ-
lich die Bahn T der Führungsrolle R in gesicherter, unverschieblicher Stellung erhalten
werden muß, ist dieser Teil in der in Fig. 67 a dargestellten Weise nach rückwärts
mit dem Ufer fest verankert.

Wie aus Fig. 67 *d* am deutlichsten zu ersehen ist, besteht jede Brückenhälfte aus einem festen und beweglichen Teil; die Hauptträger beider Teile sind doppelwandig, jedoch sind die Tragrippen beim beweglichen in 0,54 m, beim festen Teil in 1,066 m Entfernung angeordnet, damit ersterer beim Öffnen der Brücke zwischen den Wandungen des letzteren bequem Raum findet. Die Anordnung der Verbindung, sowie Verspannung der 3 Hauptträger in lotrechter und wagrechter Richtung ist aus der Fig. 67 *c* bzw. *d* ersichtlich; deren Teile wurden kräftig ausgeführt. Die Hauptstreben *S* besitzen einen kastenförmigen Querschnitt und sind oben wie unten mit Gussstahlgelenken ($d = 165$ mm Durchmesser) versehen.

Bewegungsmechanismus. Zwei Zahnstangen (in den Fig. 67 *a* bis *e* und Fig. 68 mit *z* bezeichnet), deren Querschnittsbildung aus Fig. 68 ersichtlich, die an dem einen Ende im Schwerpunkt des Hauptträgers *G* gelenkig angeschlossen, am anderen Ende über die Rollen der festen Brückenteile geführt sind, werden durch ein Zahnrad wagrecht hin und her bewegt, wodurch die Brücke geöffnet bzw. geschlossen wird. Die bewegende Kraft hierzu liefert die Dynamomaschine *m* (Fig. 67 *e*), die mittels Winkelräderübersetzung und Schraube ohne Ende die Hauptwelle *k* (in der Mitte 127, gegen die Enden 102 mm stark) und damit das Zahnrad antreibt. Im Notfall kann, unabhängig hiervon, der Antrieb von Hand (Fig. 67 *e*) durch einfache Kurbeln *h* geleistet werden. Um beim Schließen der Brücke Stosswirkungen abzuschwächen, im Falle die Maschine nicht rechtzeitig abgestellt wurde, ist mit dem Zahngestänge die Spiralfeder *f* (Fig. 68) derart in Verbindung gebracht, daß sie bei geschlossener Brücke gespannt ist und dadurch die überschüssige Kraft des Motors aufgesaugt wird.



Brückentafel. Die Fahrbahntafel ist durchaus 12,19 m breit; die Fußwege am beweglichen Teil je 1,98 m, am festen um 0,91 m breiter (Fig. 67 *c* u. *d*); der Fahrweg des beweglichen Teiles besteht aus 2 Lagen Hölzern (Steineiche) von 76 bzw. 51 mm Stärke; der Fahrweg des festen Teiles ist mit 178 mm Holzstöcke (virginische Ceder) gepflastert, siehe Fig. 67 *c*.

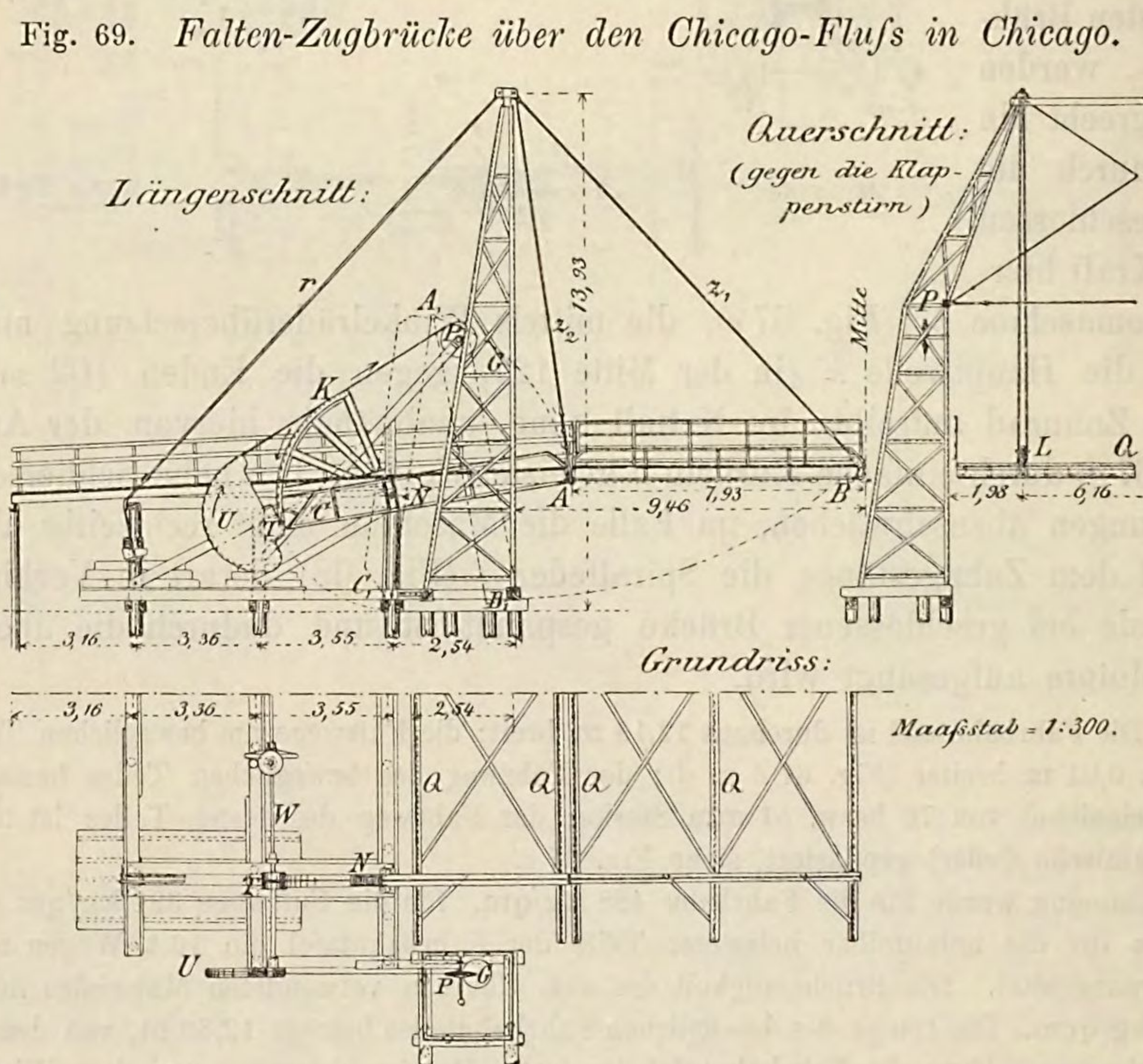
Der Tragkraftbestimmung wurde für die Fahrbahn 488 kg/qm, für die Fußwege 391 kg/qm zu Grunde gelegt; außerdem für die unmittelbar belasteten Teile der Fahrbahntafel ein 16 t-Wagen mit 3,5 m Achsentfernung vorausgesetzt. Die Bruchfestigkeit des zum Überbau verwendeten Materiales liegt zwischen 3950 und 4430 kg/qcm. Die Länge des beweglichen Fahrbahnteiles beträgt 12,80 m, von denen jedoch bei geöffneter Brücke nur 6,10 m die Fahrbahntafel der festen Brücke überragen und dem Winde erheblich ausgesetzt sind. Das Gewicht jedes beweglichen Teiles beträgt 60 t. Bei gewöhnlichem Wetter werden bei 20 Ampère Stromstärke und 414 Volt Spannung, also 11 Pferdekraften, zum Öffnen 15 Sekunden, zum Schließen 20 Sekunden benötigt, durchschnittlich 30 Sekunden, innerhalb welcher Zeit die Brücke auch durch Handbetrieb von 2 Männern geöffnet oder geschlossen werden kann. Gesamtkosten 176 400 M.

Als Vorteile werden angegeben: 1. Zulässigkeit schwerer, gediegener Fahrbahntafeln, da keine oder sehr wenig tote Last zu heben ist. 2. Geringe Winddruckkräfte sind während der Bewegung zu bekämpfen. 3. Geringe elastische Bewegung in der Brückenmitte infolge Anordnung der Hauptstreben. 4. Absperrung der Straßenenden durch die geöffnete Brücke selbst. 5. Wegfall der den Verkehr störenden Mittelpfeiler wie bei den Drehbrücken. 6. Wegfall der überflüssigen, die Aussicht versperrenden Turmbauten (bei den neueren amerikanischen Hubbrücken).

e. Klapp(Faltenzug-)brücke über den Chicago-Fluss in Chicago (engl. *folding floor draw-bridge*, *folding bridge*, franz. *pont pliant*), [Litt. 4].

Die Ufer des Chicago-Flusses wurden durch eine 45,75 m lange hölzerne Straßenbrücke verbunden, in die ein 18,9 m weiter Schiffsdurchlaß durch eine in Fig. 69 dargestellte, vollständig neue Anordnung einer beweglichen Brücke nach den Angaben W. Haarmann's, des Erfinders dieses Systems, eingebaut wurde. Die Brücke besteht aus im wesentlichen symmetrischen Hälften. *BAC* kennzeichnet die Stellung einer solchen Brückenhälfte in geschlossener, *B₁ A₁ C₁* (punktiert) in geöffneter Stellung. Die beiden Klappen *BA* und *AC* sind bei *A* gelenkförmig verbunden und außerdem die Hinter-

klappe AC um die feste, wagrechte Axe N drehbar. Bei geschlossener Brücke werden die beiden Klappen BA durch das Zugseil Z_1 (32 mm Durchmesser), AC durch das Zugseil Z_2 (33½ mm) gehalten, welche Seile ihrerseits am oberen Ende des eisernen Gitterpfeilers befestigt sind; die Oberteile des letzteren neigen sich (Fig. 69, Querschnitt) so weit gegen Brückenlängsaxe, daß die Hängeseile in lotrechten, zu den Klappenlängsträgern parallelen Ebenen geführt werden können; in der Uferichtung ist der eiserne Gerüstpfeiler mittels 45 mm starker Seile (r) an den lotrechten Pfählen verankert, die, wie aus der Fig. 69 (Längenschnitt) ersichtlich, durch Ballast aus Steinen beschwert sind. Auf den Hinterklappen AC sitzen, fest mit ihnen verbunden, fächerförmige Kreisbögen K , die sich in Schlitten der Fahrbahn bewegen können. Über jeden solchen Bogen legen sich



parallelen Ebenen geführt werden können; in der Uferichtung ist der eiserne Gerüstpfeiler mittels 45 mm starker Seile (r) an den lotrechten Pfählen verankert, die, wie aus der Fig. 69 (Längenschnitt) ersichtlich, durch Ballast aus Steinen beschwert sind. Auf den Hinterklappen AC sitzen, fest mit ihnen verbunden, fächerförmige Kreisbögen K , die sich in Schlitten der Fahrbahn bewegen können. Über jeden solchen Bogen legen sich

Seile, die einerseits am oberen Kreisbogenende, andererseits an der auf der Welle aufgekeilten Seilrolle T befestigt sind. Durch Drehen der Welle W mittels des Vorgeleges nach rechts (was durch einen Arbeiter geschehen kann) wird die Rolle T nach links gedreht, das Seil wickelt sich von K ab und auf T auf, wobei die Hinterklappe AC um die feste Axe N so lange gedreht wird, bis sie schließlich in die Stellung $A_1 C_1$ gelangt ist. Da hierbei die Vorderklappe AB mitgenommen wird, kommt das Seil Z_1 in fast lotrechte Stellung und hält die Klappe in der Lage $A_1 B_1$ fest, während das Seil Z_2 nun schlaff ist. Weil am Beginn der Bewegung der größte Kraftaufwand erforderlich ist, hat die auf die Welle W aufgekeilte Scheibe U die sichelförmige Gestalt erhalten. Von der Drehachse aus ist das Seil auf dem Umfang von U entlang liegend zur Stelle P geführt, von der es, infolge der Belastung durch ein Gegengewicht G (in der Zeichnung irrtümlich nicht eingetragen), lotrecht herabhängt; letzteres unterstützt wegen der gewählten sichelartigen Form der Scheibe U während der ganzen Bewegung den am Vorgelege thätigen Arbeiter, und zwar am meisten bei Beginn der Bewegung, da bei dieser Stellung das Gegengewicht mit dem größten Hebelarm wirkt. Die Kosten der vorliegenden Klappbrücke betrugen 65000 M., ausschließlich der anschließenden Rampenanlagen. Diese Brücke gab Anlaß zur Ausführung einer Reihe von eisernen Brücken, deren Anordnung auf demselben Grundgedanken beruht. Vergleiche besonders: Barkhausen, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 1147; auch S. 70 dieses Heftes.

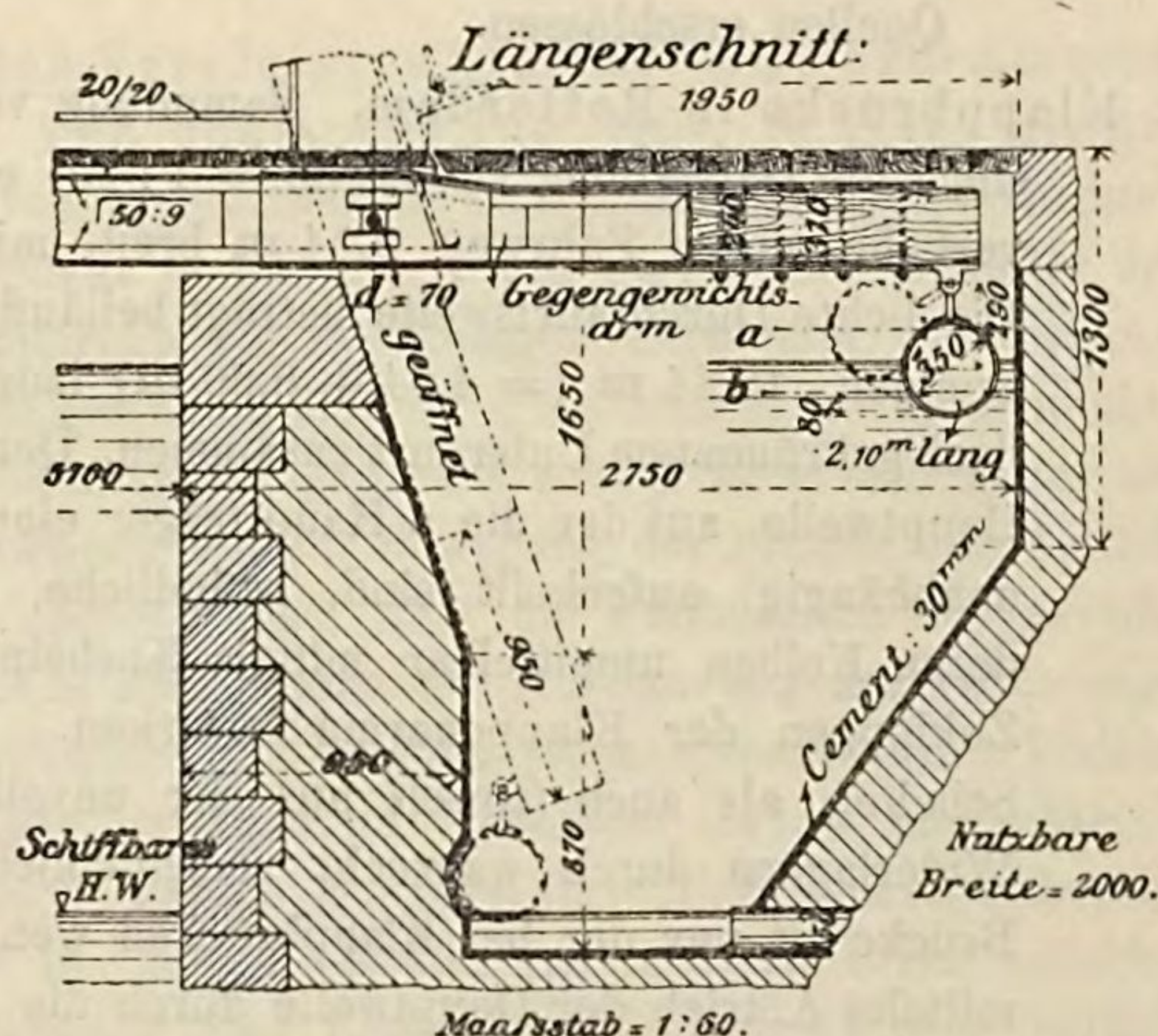
f. Selbstthätige Leinpfad-Klappbrücke des Ost-Kanales in Frankreich [Litt. 9].

Wechselt der Leinpfad öfters die Ufer eines Kanales, so wird die Verbindung vielfach durch kleine Zugbrücken über die Schleusenwandungen hergestellt, die durch ihre emporragenden Pfostenteile den Schiffszug erheblich stören; dieses Verkehrshindernis wird durch die in Fig. 70 dargestellte Anordnung einer kleinen eisernen Klappbrücke, die sich mit dem Wasserspiegel selbstthätig hebt und senkt, behoben.

Zwei Blechträger, auf denen eine Brückentafel aus Holz ruht, drehen sich um eine etwas oberhalb des Systemschwerpunktes gelegene wagrechte Axe. Das Übergewicht des kurzen, mit Ballast beschwerten Armes beträgt ungefähr 50 kg und wird durch einen hohlen Eisencylinder, der in der Kammermauer in einem hierfür ausgesparten und mit der Schleuse selbst durch ein Rohr von 0,15 m Durchmesser verbundenen Raum schwimmt, ausgeglichen. Die Wirkungsweise ist aus der Figur ohne weiteres klar. Soll dieses Brückchen jedoch benutzt werden, ohne daß vorher die Schleuse wieder gefüllt ist, so kann durch Ziehen an einer am Ende des langen Armes angebrachten Kette das kleine Übergewicht des kurzen Armes leicht überwunden und die Brücke geschlossen werden. Bei 200 kg/qm Tragfähigkeit und 2 m nutzbarer Breite stellten sich die Kosten auf 2165 M., einschließlich der Änderungen am Mauerwerk. Seit 1892 ist die Brücke ohne Betriebsstörung im Gebrauch.

Fig. 70.

Selbstthätig wirkender Klappsteg über eine Kanalschleuse in Frankreich.



Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken betreffend.

1. *The Liverpool overhead railway (tilting bridges). Engineering 1891 II, S. 714, mit Abb. In diesem längeren Aufsatz werden sämtliche beweglichen Brücken der Liverpooler Hochbahn eingehend behandelt; die gleichfalls als „tilting bridge“ bezeichnete, ebendasselbst auf S. 741 besprochene neuartige Verbindung des Dreh- mit dem Zugbrückensysteme wurde jedoch im vorliegenden Heft erst unter die „Hub- und Zugbrücken“ eingereiht, siehe S. 73.

G. Richou, Chemin de fer aérien de Liverpool. Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 249, mit Abb. und Taf. 17.

2. *Die Tower-Brücke in London. The Tower bridge, Engineer 1891 I, S. 296, 300, 488, 492. Ebendasselbst 1892 I, S. 125, 156.

Fondations du pont de la tour de Londres. Génie civil 1893/94, Bd. 24, S. 25, mit Abb. und Taf. 2.

The Tower bridge. Engineering 1894 I, S. 382, 417, 448, 471, 852, mit Abb. und 3 Doppeltafeln (schöne Schaubilder der Brücke in geschlossenem und geöffnetem Zustand).

Pont de tour à Londres. Nouv. annales de la constr. 1894, S. 113, mit Taf. 33/34 (fondations); S. 161, 177, mit Abb. und Taf. 45/46, 47/48 u. 51/52 (superstructure).

Barkhausen, Die neue Brücke über die Themse in London. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 410, 514 u. 544, mit 73 Abb. Giebt die erschöpfendste deutsche Beschreibung dieses Bauwerkes und enthält auch das wesentliche seiner Vorgeschichte, sowie Mitteilungen über verschiedene Einzelheiten, die in der englischen Litteratur nicht veröffentlicht sind.

Fr. Eiselen, Die Tower-Brücke in London. Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 57 u. 73, mit Abb.

J. E. Tuit, The Tower bridge, 1894, London (Office of Engineer). 106 Seiten, mit 6 Taf. und vielen Abb. Der Verfasser dieser Monographie, leitender Ingenieur bei der Unternehmerfirma William Arrol & Co., die den stählernen Überbau ausführte, hat durch deren Abfassung dem eingehenden Studium der Geschichte und Bauausführung dieser Brücke sehr dankenswerte Quellen erschlossen.

3. Klappbrücke in Rotterdam. Sammlung von Zeichnungen für Die Hütte 1891, Bl. 2, ohne Text. Giebt die Darstellung (Mafsstab = 1 : 40) einer 8,24 m breiten, doppelten Klappbrücke für Straßenverkehr, deren Fahrweg 5,54 m breit, mit Holz gepflastert, deren Fußwege einfach bedielt sind. Die lichte Durchfahrtsweite beträgt beiläufig 13,6 m. Jeder Klappenarm setzt sich aus 6 ungleicharmigen, 13,44 m (= 4,64 + 8,80 m) langen, vollwandigen Blechträgern mit geradem Ober- und flach gekrümmtem Untergurt zusammen. Der Antrieb erfolgt durch 2 an den Enden der durchlaufenden Hauptwelle, auf der die 6 Hauptträger einer Klappe (die beiden Klappen bewegen sich voneinander unabhängig) aufgekeilt sind, befindliche, um eine wagrechte Achse oscillierende Dampfzylinder, deren Kolben unmittelbar mittels Kurbeln die Drehung der Hauptwelle und damit das Auf- und Zuklappen der Klappenarme bewirken. Bei geschlossener Brücke sind die Klappen sowohl im Scheitel, als auch (soweit aus der unvollständigen Zeichnung entnommen werden kann) an den Widerlagern durch wagrecht verschiebbliche Bolzen verriegelt. Bemerkenswert an dieser kleinen Brücke ist nur der bei Klappbrücken wenig übliche Betrieb mittels Dampfkraft, sowie der unvermittelte Antrieb der Hauptwelle durch die 1,10 m lange Kurbel von den beiden Dampfzylindern aus.

4. *A folding-floor draw bridge. Engineering News 1891 I, S. 487, mit Abb.

Folding bridge over the Chicago river. Engineering 1891 II, S. 84 u. 91, mit Abb.

Klappbrücke über den Chicago-Fluss in Chicago. Centralbl. d. Bauverw. 1892, S. 116, mit Abb.

Pont pliant du canal street, Chicago. Génie civil 1893/94, Bd. 24, S. 337, mit Abb. Erfinder W. Haarmann.

5. Die neue Falten-Zugbrücke in Chicago. W. Ritter, Schweiz. Bauz. 1893, Bd. 22, S. 86, mit Abb. Bespricht eine Brücke nach dem angeführten System Haarmann, die 10 m hohe, eiserne Portale (Pfeilergerüste) besitzt; der Antrieb erfolgt für jede Brückenhälfte durch eine 10 pferdige Dampfmaschine, die Galle'sche Ketten antreibt. Der Verfasser hebt die Vorteile dieses neuen Systemes, die in dem kleinen Arbeitsaufwand, im Vergleich zu den früheren Zugbrücken (für vorliegende Brücke 1 Pferdekraft, bei Windstille), sowie in der kleineren, dem Wind ausgesetzten Fläche der gefalteten Tafel zu suchen seien, hervor, vermisst aber eine genügende seitliche Steifigkeit der geschlossenen Brücke und fürchtet eine rasche Abnutzung einzelner Teile.

6. *Klappbrücke über den Chicago-Fluss im Zuge der Van Buren-Straße in Chicago. Landsberg, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 863, mit Abb. u. Taf. 18. Dieser Aufsatz enthält außer der Beschreibung dieses neuen Brückensystemes auch eine kurze theoretische Betrachtung über dessen Wirkungsweise während der Rollenbewegung. (Die Vermutung des Verfassers, als ob die Klappe (Hauptfachwerkträger) für die Verkehrslast als Bogenträger mit drei Gelenken berechnet sei, ist, wie später erfolgte Veröffentlichungen ergaben, nicht zutreffend, so daß allerdings durch die elastischen Bewegungen des Brückenscheitels bei unsymmetrischer Verkehrsbelastung eine statische Unbestimmtheit in das Tragsystem kommt.)

A rocking bascule. Railroad Gaz. 1893, S. 762, Ebendasselbst 1895, S. 99, 119 u. 565, mit Abb., sowie verschiedenen Einzelheiten der Brücke, die in den übrigen Veröffentlichungen über diesen Gegenstand nicht enthalten sind. S. 565 wird über einen Unfall (August 1895) berichtet, der infolge des Versagens der Maschine eintrat und die Brücke zwar nicht beschädigte, aber einem Dreimaster die Masten kostete.

P. Basquin, Pont levis électrique de la Van Buren street, Chicago. Génie civil 1894/95, Bd. 26, S. 337, mit Abb. u. Taf. 22.

The Van Buren street rolling lift bridge. Engineering News 1895 I, S. 114, m. Abb. u. Taf.

Lift bridge at Van Buren street, Chicago. Engineering 1895 II, S. 92 u. 159, mit Abb. und 2 Doppeltafeln. Sehr eingehende Darstellung; enthält auch ein Spannungsnetz der Hauptträger.

Engineering record 1895, Bd. 31, S. 77, mit Abb.

7. Klappbrücke nach dem System J. Hase. A. Rexhausen, Stahl und Eisen 1894 II, S. 1009, mit Abb. Das eingehend besprochene System eignet sich nur für ganz kleine Stützweiten; daher als Ladebrücken für unmittelbare Verladung von Massengütern in Bahnwagen und Schiffe, wohl auch für Überbrückung kleiner Schiffahrtskanäle anwendbar.

Ein neues System von Klappbrücken. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1894, S. 258, mit Abb.

8. Mitteilungen von einer Studienreise nach den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika (Faltbrücken). Barkhausen, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 1147, mit Abb. und Taf. 22. Behandelt in eingehender Weise von theoretischem und praktischem Gesichtspunkt aus das System der Faltbrücke, dessen Ausgangspunkt in der auf S. 68, Fig. 69 dieses Heftes dargestellten Brücke zu suchen ist. Es werden ausführlich die Beziehungen entwickelt, die zwischen den Klappenlängen, der Aufhängungshöhe, der Lage des Drehpunktes, sowie der des Aufhängepunktes zweckmäßig zu wählen sind, um einen Schwerpunktsweg des ganzen Systemes zu erhalten, der sich der wagrechten Geraden möglichst anschmiegt, wodurch der zur Bewegung der Brücke erforderliche Arbeitsaufwand am kleinsten wird. Ferner wird nachgewiesen, daß die Faltbrücken den gewöhnlichen Klappbrücken vorzuziehen seien, weil: 1. die Stützen wegen der Aufhängung der Vorderkante des mittleren Klappenarmes schubfrei, 2. die dem Winddruck gebotenen Flächen verriegelt, 3. kleinere Gegengewichte benötigt werden und 4. wegen der geringen zu leistenden Arbeit nur schwache Bewegungsmaschinen erforderlich sind. Schließlich werden 2 ausgeführte Faltbrücken näher beschrieben; die eine, die Kanalstraßenbrücke in Chicago, besitzt bei 10,56 m Breite zwischen den Geländerholmen und 6,4 m Hauptträgerentfernung eine lichte Durchfahrtsweite von beiläufig 24 m; die andere, die Faltbrücke im Holtonstraßen-Viadukt in Milwaukee bei 13,41 m Breite und 7,95 m Hauptträgerentfernung eine Durchfahrtsweite von 21 m. Angaben über Kosten und Gewichte dieser Brücken sind nicht gemacht.

9. *Passerelle de halage à bascule se mouvant automatiquement sur le canal de l'Est. M. Roussel, Ann. des ponts et chaussées 1894 II, S. 39, mit Tafel.

Passerelle de halage à bascule automatique. Génie civil 1894/95, Bd. 26, S. 38, mit Taf. 3.

Ziegler, Selbstthätige Leinpfad-Klappbrücke des Ost-Kanales in Frankreich. Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 354, mit Abb.

M. Roussel, Passerelle de halage à bascule etc. Nouv. annales de la constr. 1895, S. 22, mit Abb.

10. *Pont levis du viaduc de la 16. rue, Milwaukee. Génie civil 1894/95, Bd. 26, S. 369, mit Taf. 24.

The lift bridge of the 16. street viaduct, Milwaukee. Engineering News 1895 I, S. 146, mit Abb. und Tafel.

16. street lift bridge, Milwaukee. Railroad Gaz. 1895, S. 649, mit Abb.

G. Barkhausen, Klappbrücke mit wagrechtem Schwerpunktswege. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1896, S. 805, mit Abb. Dieser Aufsatz enthält eine ausführliche Beschreibung und kritische Besprechung dieser Brücke, sowie die zeichnerische und rechnerische Lösung der grundlegenden Aufgabe dieses Systemes: die Leitlinie für die hintere Rolle des Klappenarmes zu bestimmen unter der Bedingung, daß der Gesamtschwerpunkt aus dem Gewichte der Hauptträger und der Fahrbahntafel in wagrechter Geraden sich bewege und dabei der Rollendruck (aus dem Gewicht des beweglichen Brückenteiles und der Hauptstrebe) für jede Brückenstellung senkrecht auf die zu bestimmende Leitlinie stehe.

III. Hub- und Zugbrücken.

Die unter dieser Bezeichnung in den letzten 8 bis 10 Jahren erbauten Brücken haben bezüglich ihrer ganzen Anordnung mit den früheren Brücken gleichen Namens nicht viel mehr gemein; da überdies deren Ausführungen wenig zahlreich sind, erscheint eine weitergehende Gliederung nach Ländern oder besonderen Eigentümlichkeiten nicht weiter erforderlich.

Fig. 71. Hubbrücke in Hamburg.

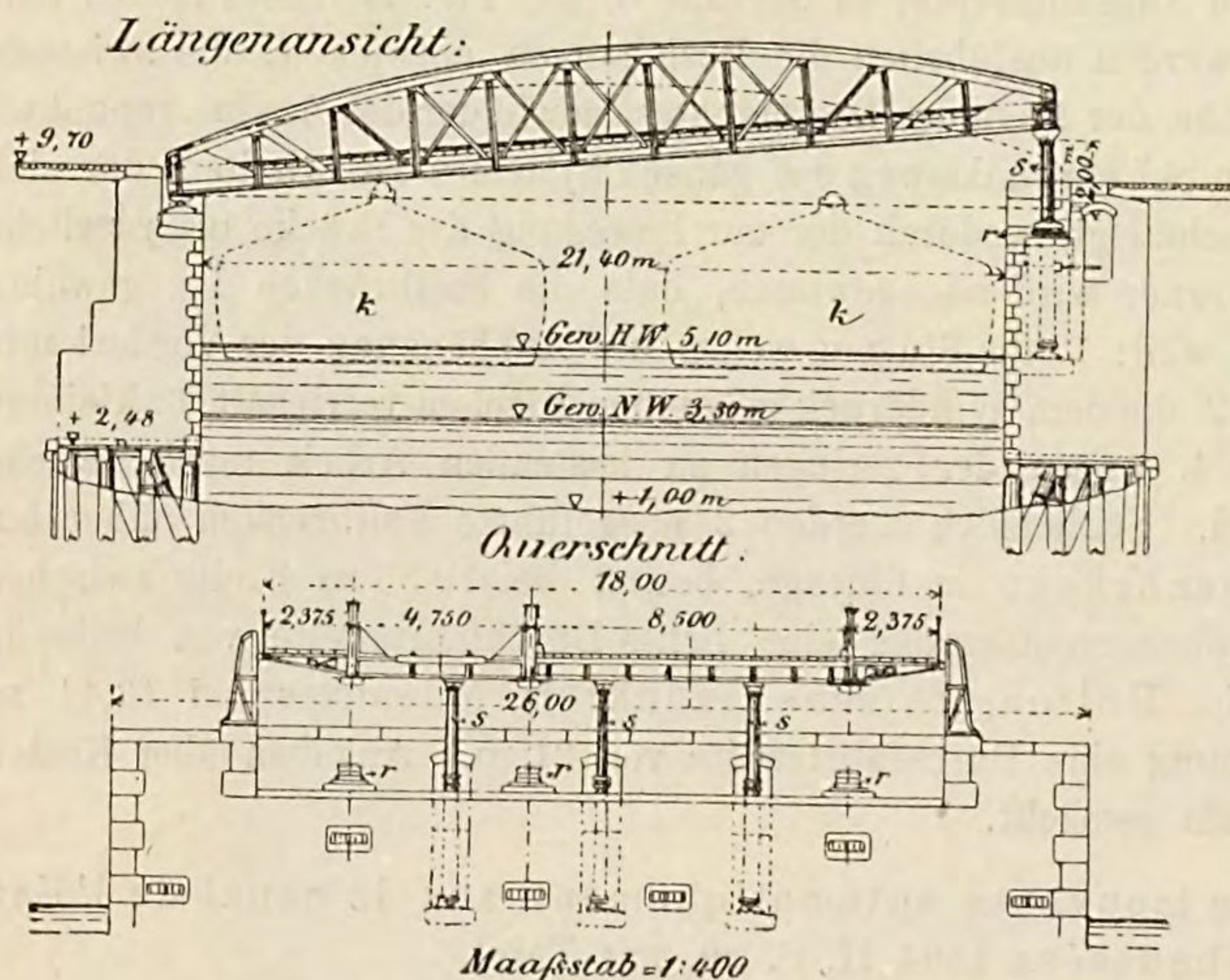
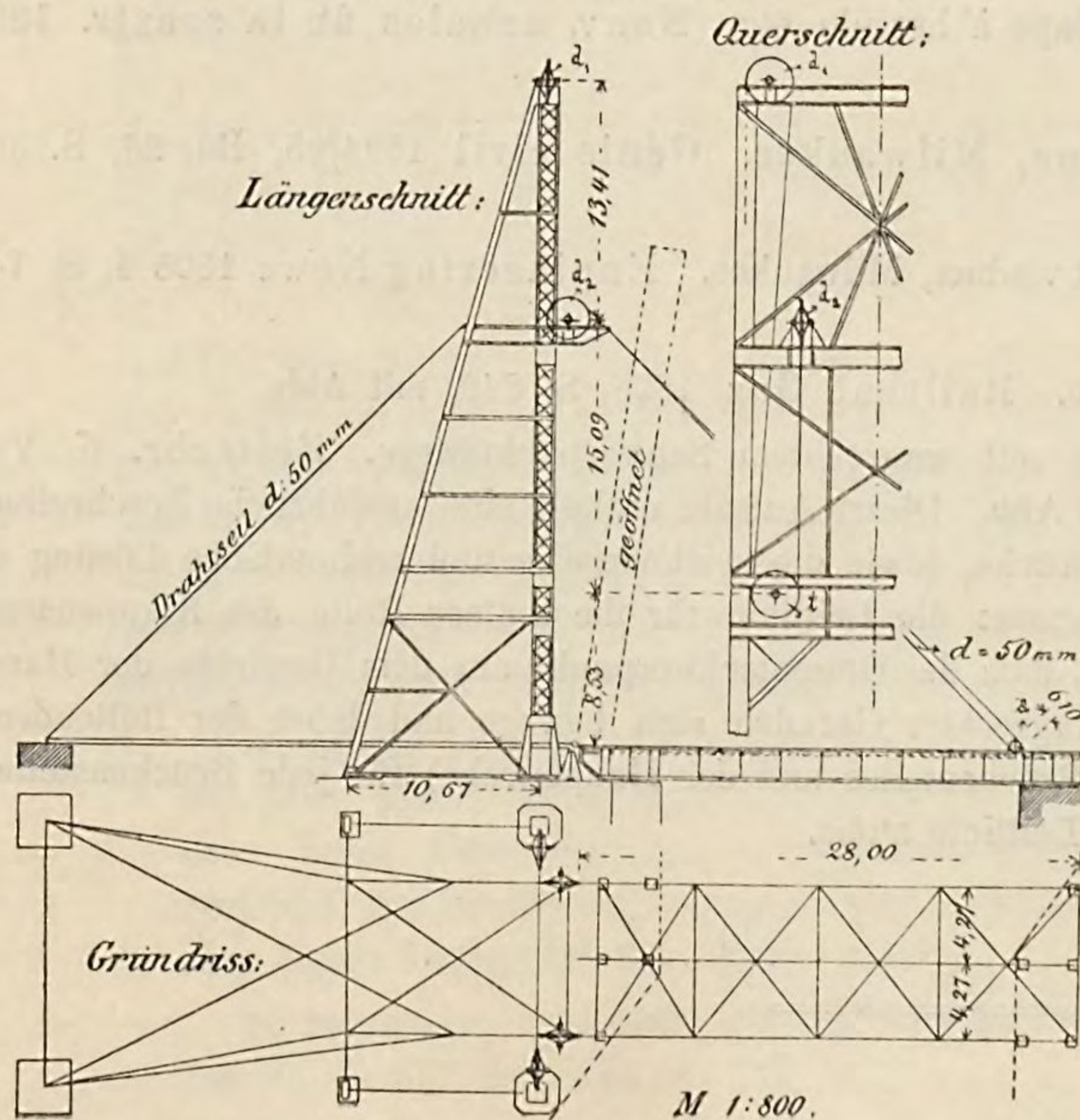


Fig. 72. Eisenbahn-Zugbrücke über den Harlem-Fluss in New-York.



a. Hubbrücke in Hamburg.

Da es sich bei der Verbindung des See-Segelschiffhafens mit dem Oberländerhafen beim Verkehr der Oberländerkähne k nur um den Wasserhöhenunterschied zwischen Ebbe und Flut, d. i. ungefähr 2 m, handelt, wurde die in Fig. 71 dargestellte einseitige Hubbrücke hergestellt, deren bewegliches Ende, wenn die Brücke angehoben werden soll, auf den Wasserdruckcylindern s ruht, aber während des Verkehrs über die Brücke selbst auf gewöhnlichen Rollstühlen r aufgelagert ist. Die beim Niedergehen der Brücke aufgewendete Arbeit wird, um eine besondere Bewegungsmaschine entbehrlich zu machen, zum Teil wiedergewonnen und im Kraftsammler aufgespeichert, so daß durch eine kleine Handpumpe nur die tagsüber entstehenden Wasserverluste durch Hochpumpen des Kraftsammlers ersetzt werden müssen.

b. Zweigeleisige Eisenbahn-Zugbrücke über den Harlem-Fluss, New-York [Litt. 6].

Der Verkehr über diese, in der 135. Straße und 4. Avenue gelegene Brücke ist ganz außerordentlich stark. Eine beträchtliche Beschädigung des Drehpfeiles der bestehenden Drehbrücke da-

selbst durch einen anfahrenden Dampfer (1892) gab Veranlassung, die in Fig. 72 dargestellte Zugbrücke auszuführen. Die ganze Anordnung besteht aus einem Drehturm, einer zweigeleisigen vollwandigen Blechträgerbrücke von 28,19 m Länge und 8,54 m Hauptträgerentfernung, die an ihrem einen Ende sich um wagrechte Axen von 209 mm Durchmesser und 940 mm Länge am Fusse des festen Fachwerkturmes (38,94 m hoch) drehen läßt, dem Zugseil- und Rollensystem und der im Turm befindlichen, zugleich als Gegengewicht dienenden zweicylindrigen wagrechten Hubmaschine. Die Scheibe *a* am Aufsenende des Blechträgers (610 mm Durchmesser) dient zur Ausgleichung des Kabelzuges; die übrigen Scheiben von 2,06 m Durchmesser (d_2 , t u. d_1 in Fig. 72) sind zur Aufnahme der Kabel mit Rillen versehen und aus alten Lokomotivrädern (Fig. 73) gefertigt.

Neu und eigenartig ist die Anordnung der Gegengewichte in den beiden vorderen lotrechten Säulen des Turmes. Jedes dieser Gegengewichte setzt sich zusammen aus 23 voneinander unabhängig im Innern der Turmsäule an Haken aufgehängten Stücken, von denen das unterste allein mit dem Kabel fest verbunden ist; soll die Brücke geöffnet werden, so löst das aufsteigende Kabel mit dem daran befestigten untersten Gegengewichtsstück der Reihe nach alle übrigen aus und bringt sie zur Wirkung; beim Schließen der Brücke erfolgt der Vorgang in umgekehrter Reihenfolge: das oberste Gegengewichtsstück hängt sich zuerst in die Turmhaken, dabei außer Wirkung tretend, bis schließlich am Kabel nur noch das unterste Gegengewichtsstück allein hängt. Um während dieses Vorganges alle Stosswirkungen unschädlich zu machen, sind sämtliche einzelnen Gewichte mit Kautschukpuffern ausgestattet. Erforderliche Zeit zum Öffnen 1 Min. 20 Sek. Die Brücke wurde mit den verschiedensten Geschwindigkeiten niedergelassen, ohne daß sich dabei erhebliche Stosswirkungen zeigten. Das Eisengewicht ist mit 90 t, die Gesamtkosten mit 168 000 M. angegeben.

c. Die Doppel-Drehbrücke in Verbindung mit Zugbrücken der Liverpooler Hochbahn am Eingang des Stanley-Docks [Litt. 3]

ist die beachtenswerteste Brücke der S. 62 erwähnten Hochbahn, deren Gesamt-Anordnung der Fig. 74 zu entnehmen ist. Es

Fig. 73.
Eisenbahn-
Zugbrücke über den
Harlem-Fluss in
New-York.

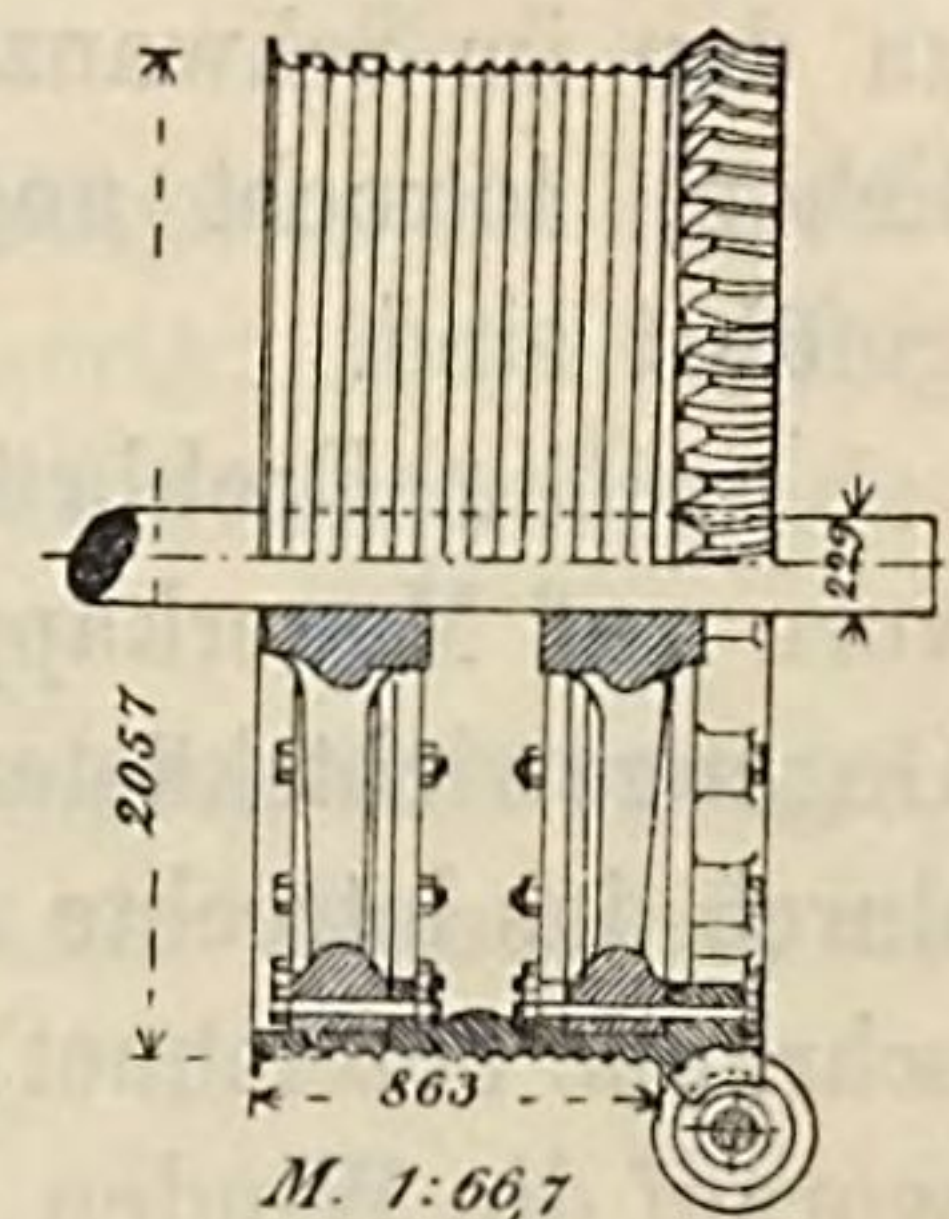
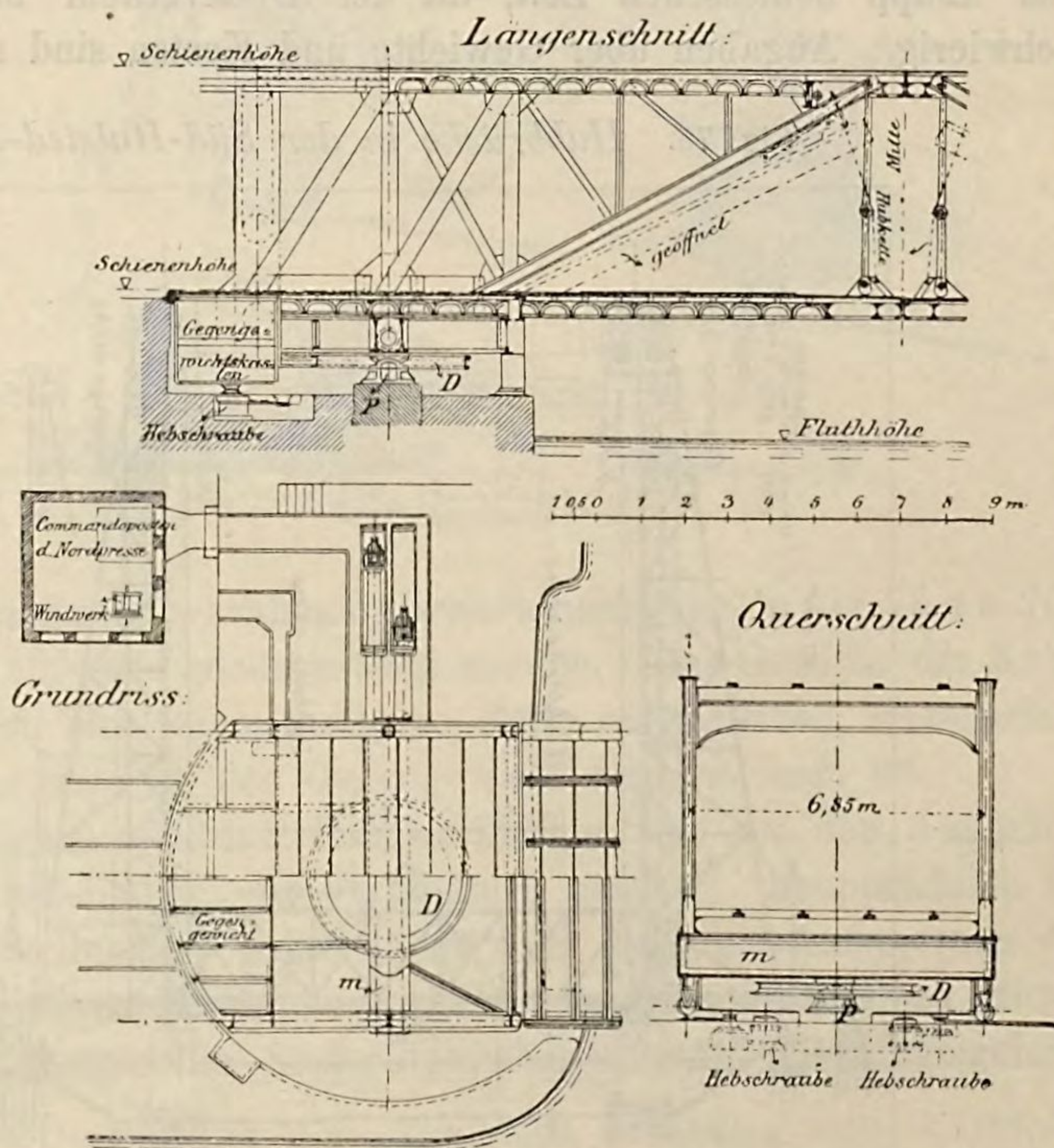


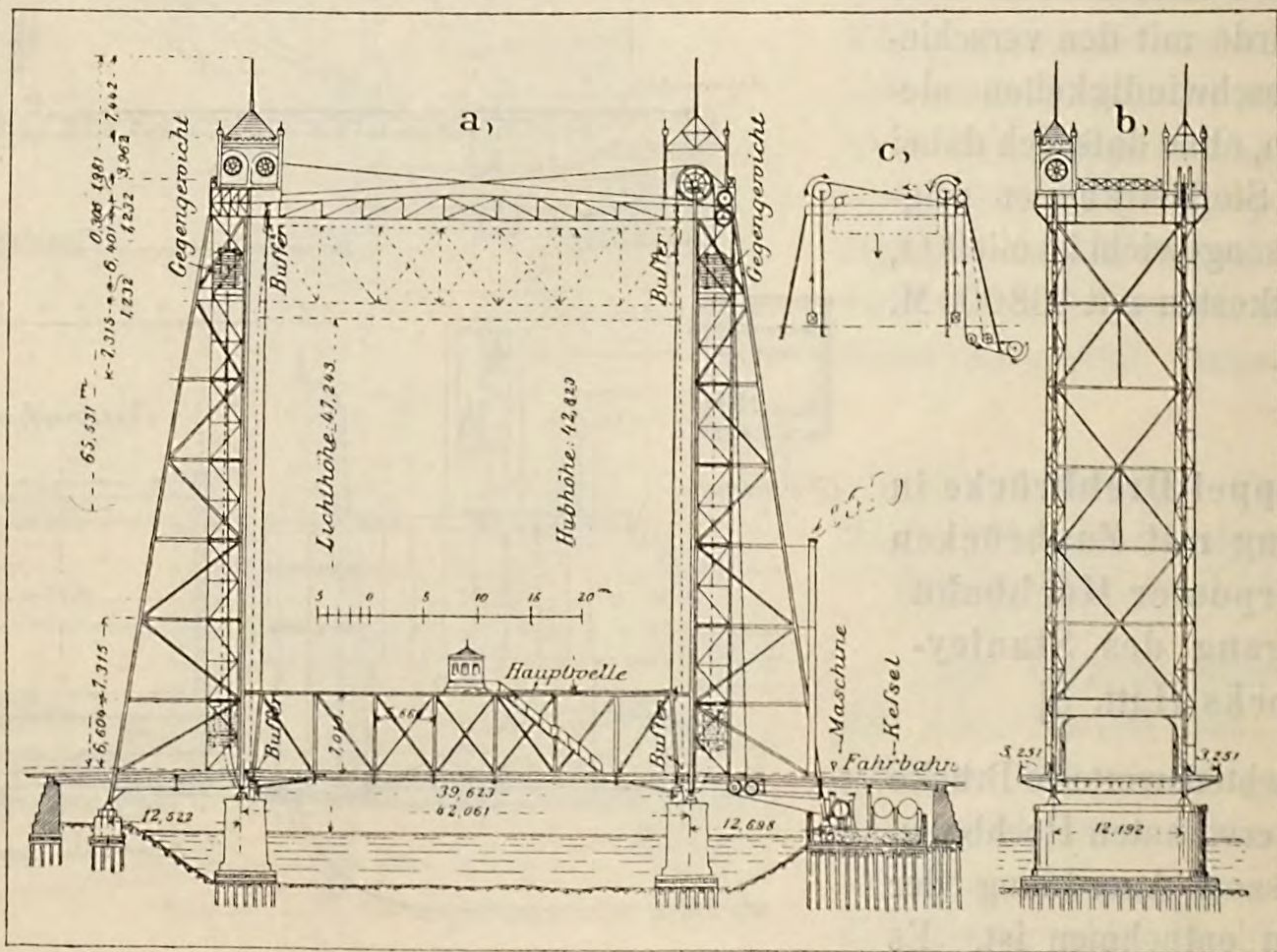
Fig. 74. Doppel-Drehbrücke mit Zugbrücken in der Hochbahn zu Liverpool.



war an dieser Stelle aufer der zweigeleisigen Hochbahn auch die zweigeleisige Dockbahn über die Dockmündung zu führen, welche letztere jedoch aus Rücksicht auf den Bahnverkehr nur nachts geöffnet wird. Um die gewöhnlichen Barken in das Dock einlassen zu können, wurden die Dockgeleise mittels Zugbrücken übergeleitet, welche geöffnet werden können (siehe die punktierte Stellung in Fig. 74), ohne dabei den Hochbahnverkehr zu stören. Die zu diesem Zwecke getroffene Anordnung (in der Hauptsache aus der Fig. 74 ersichtlich) ist folgende: Das Aufziehen und Niederlassen der Klappen erfolgt mittels Wasserdruckes durch Ketten, die unterhalb der Fahrbahntafel der Hochbahn zu den im Schwanzstück des kurzen Gegengewichtes der eigentlichen Drehbrücke befindlichen, lotrecht angeordneten Druckwasser-Pressen (in Fig. 74 punktiert angedeutet) geführt sind.

Die Drehbrückenhälften ruhen in eingedrehter Stellung auf 2 Auflagerpunkten, vorn auf Mauerkappen am Uferrand, hinten auf gleitenden Blockträgern unterhalb der Gegengewichtskästen. Soll die Brücke gedreht werden, so wird das Gewicht derselben durch das lotrechte Anheben mittels Druckwassers betriebener Winden (in Fig. 74 mit Hebschraube bezeichnet) aufgenommen; nun werden die hinteren Blockträger zurückgezogen, worauf die Winden so lange sinken, bis die Brücke auf dem festen Königsstuhl *P* aufsitzt; infolge fortgesetzten Senkens der Windenkolben kantet der ganze Brückenträger um den Königsstuhl *P*, wodurch am Schwanzende die Laufrollen zum Tragen gelangen (siehe Fig. 74, Querschnitt) und die Brücke, da sie sich inzwischen von den Auflagern am Widerlagerrand abgehoben hat, ungehindert ausgedreht werden kann; die bereits erwähnten Laufrollen werden hierbei auf eiserner Bahn geführt. Das Ausdrehen der Brücke erfolgt dann mittels der beiden senkrecht zur Brückenbahn angeordneten Druckwasser-Pressen und der wagrechten Trommel *D*, wobei die Drehung jeder Brückenhälfte unabhängig von der anderen erfolgt. Die Aufstellung dieser Brücke war wegen der knapp bemessenen Zeit, da der Dockverkehr nicht gestört werden durfte, sehr schwierig. Angaben über Gewichte und Kosten sind nicht gemacht.

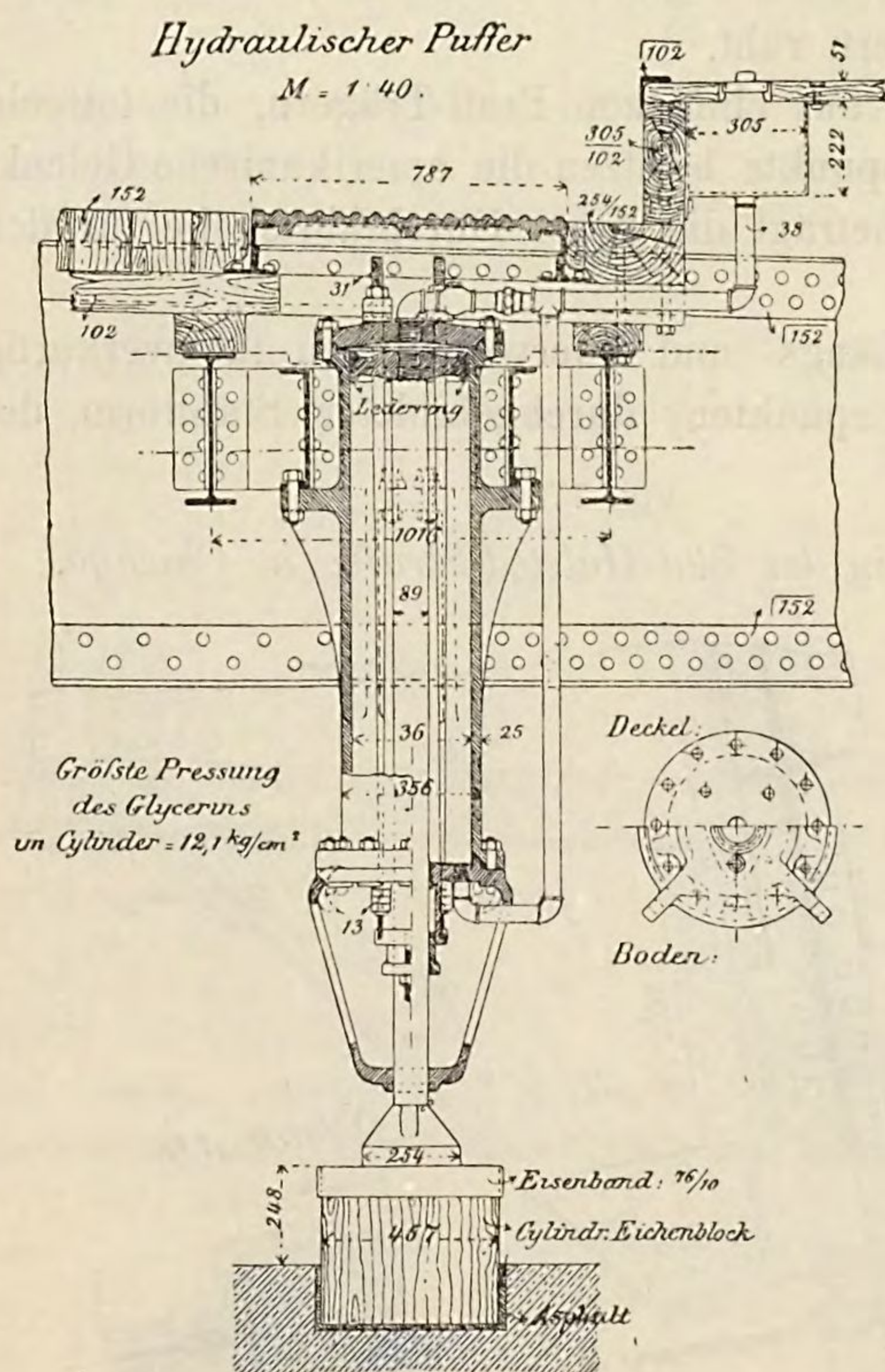
Fig. 75. Hubbrücke in der Süd-Halsted-Straße in Chicago.



Bemerkung: Fig. 76 folgt später.

auflagerung an den unteren Enden der landwärts gelegenen Hauptpfosten der Turmbauten gestattet durch Drehen des an das Kugellager anstoßenden achteckigen Schaftes eine genaue Einstellung der Turmwandungen; sie haben sich als sehr zweckentsprechend erwiesen; es mag erwähnt werden, daß diese geneigten Wandungen nur die durch Winddruck hervorgerufenen Kräfte aufzunehmen haben; das Gewicht der Brücke tragen

Fig. 78. Hubbrücke in der Süd-Halsted-Straße in Chicago.



die lotrechten, flusswärts gelegenen Wandungen. Gegen Verdrehungen sind die Türme durch ein System von wagrecht liegenden Rahmen reichlich abgesteift. An jedem Turmeck, oben und unten, ist je ein Wasserdruk-Puffer mit Glycerinfüllung (Fig. 78) angebracht, der stark genug ist, um den Stoß der mit größter Geschwindigkeit (1,22 m i. d. Sekunde) anlangenden Brücke unschädlich zu machen.

Der anzuhebende Träger mit allem, was darauf ist, wiegt 290 t; ebenso schwer ist natürlich das Gegengewicht; hierzu kommen noch 20 t für die bereits erwähnten Gegengewichtsketten, sodaß also das vollständige zu bewegendes Gewicht 600 t beträgt. Änderungen der Gewichte durch Schnee, Schmutz, neue Abpflasterung der Fahrwege u. s. w. können durch Einlassen von Wasser in Behälter, die auf der Brückentafel angebracht sind, sowie durch Hinzufügen weiterer kleiner Gewichte auf die Träger bzw. Gegengewichte zu den Hauptgegengewichten entsprechend ausgeglichen werden. Infolge des vollständigen Ausgleiches der Gewichte sind also durch die Maschinenanlage nur

die Reibungswiderstände zu überwinden; gleichwohl kann im Notfall auch eine beträchtliche, auf der Brücke befindliche Last mit angehoben werden. Während des Auf- und Niedergehens der Hauptträger erfolgt eine Führung derselben in der Quer- und Längsebene durch Rollen, die an dem Ober- und Untergurt angebracht sind. Die Längsrollen werden dabei durch Federn andauernd an die Führung in den Säulen gepreßt und nehmen so an der Längenänderung der Hauptträger teil. Die Querrollen haben bei Wind, sowie beim Anfahren von Schiffen in Thätigkeit zu treten; für letzteren Fall ist auch noch auf die ganze Brückenlänge an der Spitze der beiden Fußwegkragarme eine Art Abweiser aus sehr kräftigen 152 mm Winkeln gebildet; derselbe soll das Takelwerk anfahrender Schiffe abscheren, und hatte auch bereits Gelegenheit, sich als wirksam zu erweisen.

Die Brücke trägt eine doppelgleisige Straßenbahn mit kleinster Fahrwegbreite von 10,36 m zwischen den Türmen; die beiden Fußwege besitzen je 2,13 m nutzbare Breite und die Hauptträgerentfernung beträgt 12,19 m. Die Anordnung der Fahr- und Fußwege ist aus Fig. 78 ersichtlich, die Querdielen der letzteren ruhen auf hochkantig gestellten Bohlen, 305 $\times$ 76 mm.

Die oben erwähnten Wasserbehälter fassen 8,61 t Wasser, genügend, um die Brücke in Bewegung zu setzen; auch sind sie durch eine Rohrleitung mit der Dampfmaschine in Verbindung gebracht, um im Winter durch Einlassen von Dampf das Einfrieren hintanhalten zu können.

Abschlussthore sind an der Brücke nicht angebracht; für die rechtzeitige Absperrung des Verkehrs haben Polizeibeamte Sorge zu tragen, die nur die Fahrwege, nicht aber die Fußwege, mit Seilen absperren, eine jedenfalls sehr mangelhafte Anordnung bei einem so kostspieligen Bauwerk.

Das Steuerhäuschen ist im Mittelfach der Hauptträger (Fig. 75) über der Obergurtung angebracht, gestattet den Ausblick nach allen Richtungen und enthält außer den Signalvorrichtungen nur noch eine eigentümliche, durch Patent geschützte Anordnung (*peeper*), die dem im Häuschen anwesenden Steuermann angiebt, wann für die Durchfahrt eines ankommenden Schiffes die Brücke genügend angehoben ist, wodurch unnütze Hebearbeit vermieden wird.

Die kürzeste Zeit, innerhalb der die Brücke in die höchste Stellung angehoben wurde (bei 1,22 m größter Geschwindigkeit in der Sekunde) betrug 34 Sekunden.

Die Antriebsmaschine wurde in einem $11,35 \times 16,15$ m großen Raum an einem Ufer aufgestellt, sehr gegen den Willen des Erbauers der Brücke, der elektrischen Antrieb geplant hatte und die ganze dazu erforderliche Anlage in ein in einen der Türme gestelltes Haus unterbringen wollte; nachdem er aber zur Anwendung einer Dampfmaschinenanlage genötigt war, hielt er es wegen der Schwingungen, in welche durch eine solche der Turm geraten könnte, für zweckentsprechender, diese außerhalb desselben aufzustellen.

Sowohl Widerlager, Pfeiler und Maschinenraum wurden auf Pfahlrost gegründet und hierauf die geschlossenen Betonkörper gesetzt; die ersteren mußten bei der Neigung des Chicago-Flusses, abzubrockeln, mittels schweißeiserner Ankerstäbe ungefähr 12 m nach rückwärts verankert werden.

Einrichtung des Maschinenhauses. Zwei 70pferdige Dampfmaschinen übertragen ihre Kraft auf eine 203 mm starke Hauptwelle, auf welche zwei gußeiserne Seilscheiben (1,83 m) gekeilt sind, über deren Rillen 22,2 mm starke Drahtseile laufen. Durch Drehen dieser Welle in der einen oder anderen Richtung wird die Brücke gehoben oder niedergelassen. Die Maschine ist mit Reibungsbremsen ausgestattet. Die Anordnung der Anhebekabel ist aus Fig. 75 c ersichtlich; die äußerste Scheibe rechts unten, mit dem links drehenden Pfeil, stellt die bereits erwähnte Seilscheibe von 1,83 m Durchmesser dar, und entspricht hierbei die eingezeichnete Pfeilrichtung dem Beginn der Brückensenkung. Die Bewegung der Brücke kann außerdem durch Benutzung der Wasserbehälter im Notfall auch noch mittels eines einfachen Handgetriebes allein oder durch dasselbe in Verbindung mit den Wasserbehältern bethätigt werden.

Sobald die Brücke sich einer der beiden Grenzstellungen nähert, sperrt eine selbstthätig wirkende Vorrichtung den zuströmenden Dampf von der Maschine ab und schützt so die Puffer vor regelmäßig wiederholter voller Inanspruchnahme.

Grundlagen der Berechnung. Als Verkehrslast wurde für die einzelnen Teile der Fahrbahn- tafel ein 11 t-Rad mit 1,8 m Wirkungslänge, außerdem, sowie auch für die Fußwege 489 kg/qm und für die Hauptträger 6,7 t/m der Tragkraftbestimmung zu Grunde gelegt; das Eigengewicht der Hauptträger wurde mit 6,1 t/m für das Meter Brückenlänge und der Winddruck mit 146 kg/qm getroffene Fläche des Bauwerkes in die Rechnung eingeführt. Die größten zulässigen Beanspruchungen wurden für den Druckeylinder nach der Formel $\sigma = \alpha - \beta \frac{l}{r}$ bestimmt, wobei α zwischen 1055 und 1196 kg/qcm und β zwischen 3,94 und 5,27 kg/qcm, je nach der Bearbeitungs- und Einspannungsweise des Gliedes, liegt; l bezeichnet hierbei die Länge des gedrückten Stabes und r dessen Trägheitshalbmesser. Bei Zuggliedern liegen die Grenzen zwischen 703 kg/qcm (bei Gegenständen mit Spannmutter) und 10,55 kg/qcm. Niete und Gelenkbolzen können bis 703 kg/qcm auf Scherung, 1125 kg/qcm auf Zug und 1406 kg/qcm auf Biegung beansprucht werden. Für das Mauerwerk (sehr guter Sandstein) waren 21,1 kg/qcm und für Beton (Portland-Cement) 10,5 kg/qcm zulässig. Der Laibungsdruck der Wellzapfen betrug nur 42,2 kg/qcm und der Pufferdruck nur 14,1 kg/qcm. Jedes Drahtseil von 38 mm Durchmesser ist mit 8,5 t belastet. Die kleinsten Eisenstärken der Fahrbahnteile betragen 9,5 mm, die aller übrigen 7,9 mm.

Die thatsächlichen Kosten des ganzen Brückenbaues, ausschließlich des Landanschlusses, betrugen 840 000 M. (1 Dollar = 4,20 M.) und überschritten die veranschlagten Kosten ganz wesentlich, teils wegen der wider Erwarten ungünstigen Gründungsarbeiten, teils wegen der größeren zur Ausführung gekommenen Turmhöhe u. s. w. Als Vorzüge werden von Waddell, dem Erfinder dieses Systemes, folgende Punkte namhaft gemacht: 1. Kleinster Bedarf an zu überbauender Grundfläche, 2. ungehinderter Verkehr an den unmittelbar anschließenden Uferstrecken, 3. um 30% kleinerer Zeitbedarf zum Öffnen der Brücke als bei gleichwertigen Drehbrücken, 4. Zulässigkeit beliebig schwerer Fahrbahn tafeln, 5. Ausführbarkeit weit größerer Stützweiten als bei Dreh- und anderen beweglichen Brücken und 6. Einfachheit der Maschinenanlage.

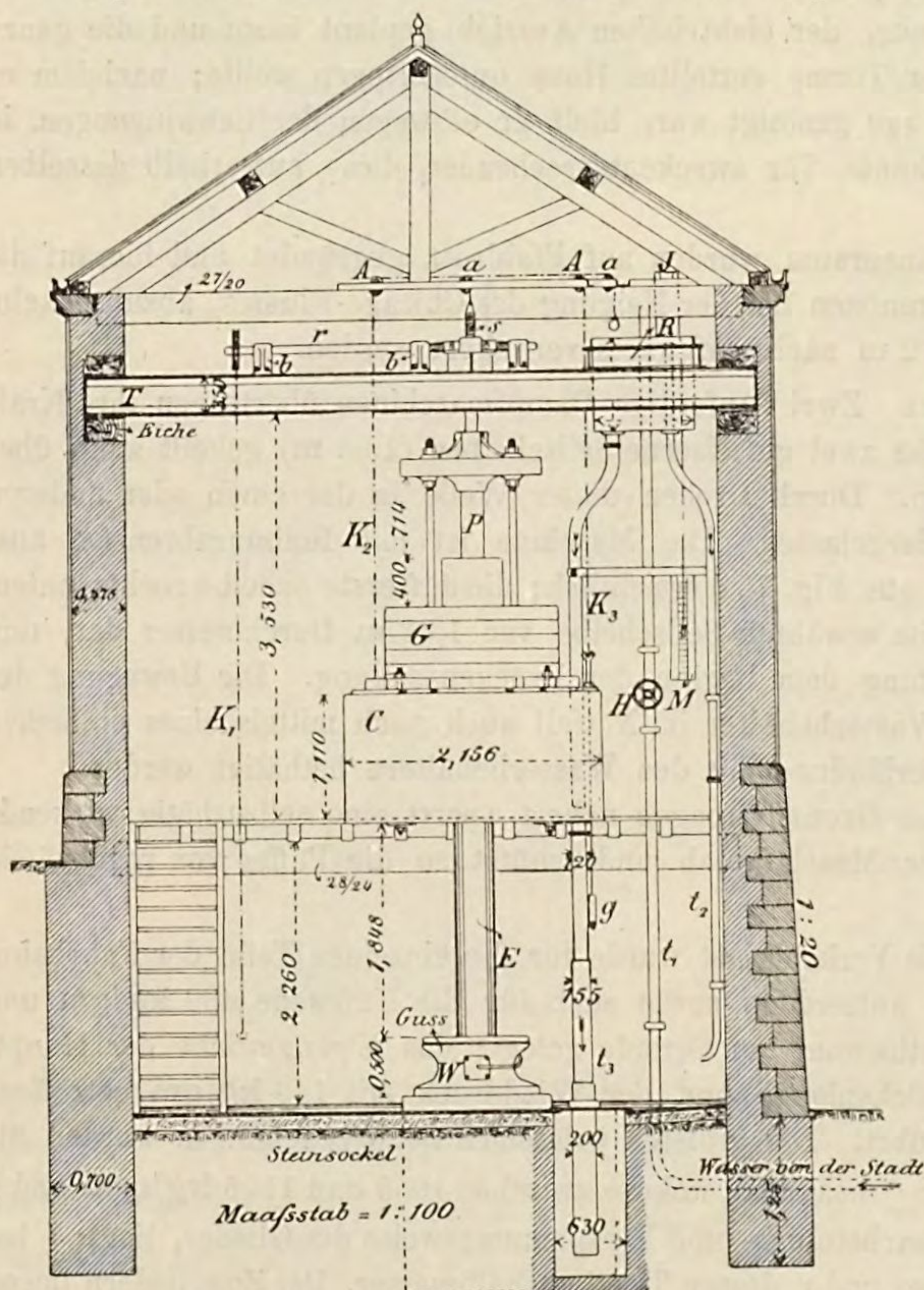
Einige von diesen Punkten sind in dieser allgemeinen Fassung nicht ganz einwandfrei; ein kaum zu beseitigender Nachteil dieses Brückensystemes liegt, besonders wenn der frei zu haltende Verkehrsraum erheblich wird, in dessen äusseren Erscheinung, die mit einem schönen Stadtbild schwerlich in Einklang gebracht werden kann.

e. Die Hubbrücke von Larrey (Vorstadt von Dijon) [Litt. 7]

wurde an Stelle einer Steinbrücke, die für die Kanalschifffahrt ein stetes Hindernis gebildet hatte, ausgeführt. Nach langjährigen Studien hatte man aus 5 Entwürfen (3 festen, 1 Drehbrücke und vorliegender Hubbrücke) die letztere zur Ausführung gewählt. Es war eine Brücke mit untenliegenden Trägern bei sehr geringer Konstruktionshöhe über den Kanal (einschließlich des Leinpfades, 9,8 m breit) unter Vermeidung

Fig. 79.

Kraftsammler von der Hubbrücke in Dijon.



von Rampen zu führen, die eine zeitweilige Vergrößerung der Lichthöhe (bei gesenkter Brücke und ungehindertem Straßenverkehr 2,4 m) für die Kanalschiffe um 1,3 m gestattet. Die Brückenbreite beträgt 6,10 m (4,5 m die mit Holzpflaster versehene Fahrbahn und je 0,8 m die Fußwege); die ganze stählerne Brückentafel ist aus äußerst niedrigen (0,540 m bzw. 0,354 m die Hauptträger- und 0,20 m die Querträgerhöhe) Blechträgern zusammengesetzt, wobei die beiden äußeren, unmittelbar unter den Geländern befindlichen Hauptträger höher als der mittlere ausgebildet werden konnten; sie ruht in den 4 Ecken auf Druckwasser-Kolben, die durch Zahnstangen mit lotrechten Zahnstangen von einer allen gemeinsamen Druckwasser-Presse gleichzeitig gehoben und gesenkt werden. Der bewegliche Teil dieses Druckwasser-Kraftsammlers (Fig. 79) setzt sich zusammen aus einem unveränderlichen Gewicht G (Gußscheiben) und einer dieses umschließenden eisernen kreisrunden Kufe C , die nach Bedarf mit Wasser gefüllt werden kann. Ist diese Kufe leer, so ruht die Brücke infolge ihres größeren Gewichtes auf den festen Auflagern (eichenen Querschwellen an beiden Widerlagern); die Druckwasser-Kolben sind dabei nicht druckfrei, aber unfähig, allein die Brücke zu tragen; sie werden jedoch, in später zu besprechender Weise, meistens druckfrei gemacht. Durch Füllen der aus 4 mm dickem

Blech gefertigten Kufe mit Wasser wird der Druck im Kraftsammler gesteigert, sodaß nun die Brücke durch Öffnung des Verbindungshahnes der Druckleitung mit dem Druckwasser-Kolben gehoben werden kann. Das erforderliche Mehrgewicht des Kraftsammlers gegen das anzuhebende Gewicht der Brücke einschließlic der mitzuhebenden beweglichen Teile der Bewegungsvorrichtung beträgt im ungünstigsten Fall 1,5 t; zur Sicherheit wurde der Fassungsraum der Kufe jedoch für 2,4 cbm Wasser bemessen.

In die Druckleitung ist eine besondere Vorrichtung (*distributeur*) eingeschaltet, die bezweckt, einerseits das vom Kraftsammler kommende Wasser in 4 eiserne Rohrleitungen von 30 mm Durchmesser, die zu den Hebekolben führen, gleichmäßig zu verteilen, andererseits aber gestattet, jede der letzteren beliebig ausschalten zu können, im Falle sich schadhafte Stellen zeigen, ohne daß dabei die anderen Leitungen außergewöhnlich belastet werden; die Druckleitungen sind überdies mit Manometern versehen, welche jedes Undichtwerden sofort erkenntlich machen. Die Indienststellung des Kraftsammlers *C*, *G* bzw. dessen Anhub an den Druckwassercylinder *E* (in dessen Innerem der Druckwasserkolben sich befindet), um die Hubhöhe von 2 m erfolgt durch eine einstiefige Druckwasser-Pumpe, die durch einen Mann

leicht bedient werden kann; diese Pumpe dient aber auch zur Entlastung der Druckleitung während der Zeit, in der sich die Brücke in ihrer gewöhnlichen (nicht gehobenen) Stellung befindet, indem das ganze Gewicht des Kraftsammlers an die Eisenträger T unter der Decke des Maschinenhauses aufgehängt wird, wodurch, wie bereits früher erwähnt, auch die Hebekolben in den Brückenecken druckfrei werden und der ganze eiserne Überbau allein auf den 2 Eichenschwellen aufruht. Dies geschieht wie folgt: Der 193,5 mm starke, massive Stahlkolben P verjüngt sich nach oben in einen Cylinder von 110 mm Durchmesser, in dessen oberes Ende ein Schraubengewinde S geschnitten, an dem eine sehr kräftige Schraubenmutter sitzt; durch Ziehen an der Kette K_1 werden mittels der Welle r , in welche rechte und linke Gewinde geschnitten sind, 2 Backen unter die Schraubenmutter geschoben; läßt man nun durch Öffnen eines Hahnes Druckwasser aus dem Kraftsammler ausfließen, so kommt die Schraubenmutter zur Wirksamkeit und überträgt das vollständige Belastungsgewicht des Kraftsammlers mittels der Backen auf die Träger T , wodurch das Druckwasser im Presscylinder spannungslos wird. Um letzteres wieder unter Druck zu setzen, preßt man mittels der oben erwähnten Handpumpe so viel Wasser in den Cylinder des Kraftsammlers, daß man infolge der dadurch bewirkten kleinen Hebung in der Lage ist, die Lagerbacken der Schraubenmutter mittels der Kette K_1 wieder zurückzuschieben. Die Wasserkufe wird von dem Behälter R (2,1 cbm Fassungsraum) und dieser von der städtischen Leitung durch die Rohrleitung t gespeist; beim Senken der Brücke läuft das Belastungswasser durch das teleskopartig eingerichtete Rohr t_3 in einen Kanal. Der Füllungszustand des Behälters R wird durch einen Schwimmer an der Skala M dem Maschinisten angezeigt.

Die Cylinder der 4 Hebekolben sind aus bestem Gufseisen zweiter Schmelzung, 1,82 m hoch mit 45 mm dicken Wandungen; die gufsstählernen Hebekolben füllen bei 120 mm Durchmesser die Cylinder voll aus, und greifen mit ihren oberen wagrecht abgeschnittenen Kreisflächen unter die an die Brücke befestigten Auflagerbüchsen.

Die Manometer der Druckleitungen zeigen beim Heben 64 kg/qcm, beim Senken 62 kg/qcm Pressung der Druckflüssigkeit, für welche letztere Wasser mit Glycerin gemischt, das Mischungsverhältnis je der Jahreszeit entsprechend, verwendet wird; dasselbe beträgt im allgemeinen $G:W = 30:100$, bis 50:100 bei strenger Kälte. Täglich werden ungefähr 10 bis 12 l dieser Flüssigkeit, auf 60 bis 80° C. erwärmt, in die Leitung eingeführt.

Das Gewicht der Brücke einschliesslich der Presskolben beträgt 28,48 t, das der beweglichen Teile des Kraftsammlers einschliesslich seines Kolbens 17,76 t ($\mu = 0,62$) und das Gewicht des Belastungswassers, um die Brücke aus der Ruhelage zu lösen, 1,08 t. Die Reibungswiderstände stellten sich gröfser heraus, als nach der Rechnung erwartet wurde; es zeigte sich aber auch bei Erneuerung der Liderung, daß die Druckflüssigkeit teilweise ganz hart war. Der Wasserbedarf für die Kufen beträgt durchschnittlich 10 bis 12 cbm täglich.

Um die Möglichkeit des ungleichen Anhebens in den 4 Ecken der Brücke, sei es infolge verschiedenen Druckes in den Leitungen, sei es aus sonst einem Grunde, ganz auszuschließen, sind an jedem Ecke 2 Zahnstangen, die mit dem Mauerwerk fest verbunden sind, angebracht; in diese 8 Zahnstangen greifen 8 Zahnräder von 2,86 mm Teilung, die auf 4 durchlaufenden Hauptwellen von 100 mm Durchmesser an den 4 Seiten der Brücke entlang aufgekeilt sind; durch diese Anordnung ist jeder, bei der geringen Höhe der ganzen Brückenkonstruktion leicht möglichen Verdrehung derselben wirksam begegnet.

Sämtliche Vorrichtungen zur Bewegung der Brücke sind in einem abseits derselben gelegenen, besonders erbauten Maschinenhaus untergebracht, von dem aus die Brücke übersehen und gesteuert wird.

Der Fußgängerkehr wird auch über die gehobene Brücke durch 4 besondere Aufgangsstiegen an den Widerlagern aufrecht erhalten. Das Bauwerk macht, soweit aus den Schaubildern ersichtlich, einen gefälligen Eindruck. Die Brücke ist seit Herbst 1890 in Thätigkeit und arbeitet gut; in 5 Sekunden hebt oder senkt sich die Brücke, sodaß der Wagenverkehr bei einem durchfahrenden Schiff nur 1 Minute unterbrochen wird.

Die Kosten der Brücke stellen sich außerordentlich hoch: Brücke nebst Zufahrt 25 963 M. (hier- von treffen jedoch bloß 5078 M. auf den eisernen Überbau), Kraftsammler 5330 M., Bewegungsvorrichtungen 18 072 M., insgesamt 49 365 M. (1 M. = 0,81 Frs.), das giebt bei einer gesamten Brückenlänge von 22,2 m bei 6,1 m nutzbarer Breite 366 M./qm.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Hub- und Zugbrücken betreffend.

1. Träger mit freischwebenden Stützpunkten. L. Brennecke, Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 123, Fig. 6. Der Verfasser schlägt vor, bei Trägern dieser Art statt des zwischen den Kragarmen eingehängten Mittelfeldes eine Roll- oder Hubbrücke zur Gewinnung eines hohen Durchfahrtsprofils anzuordnen.
2. *Über Hamburgs Entwicklung in seinen Hafen-, Zollanschlufs- und Eisenbahnbauten. Diefenbach, Glaser's Annalen 1890, Bd. 26, S. 218, mit Abb.
3. *The Liverpool overhead railway (tilting bridge). Engineering 1891 II, S. 741, mit Doppeltafel.
G. Richou, Chemin de fer aérien de Liverpool. Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 249, mit Abb. und Taf. 17.
4. Proposed method for operating a vertical lift draw bridge. Charles Steiner, Engineering News 1892 I, S. 652, mit Abb. Bei einer zweiflügeligen Zugbrücke von 76,20 m Gesamtweite soll das Anziehen der Zugketten allein durch Wasserdruck erfolgen, indem in einem wasserdichten lotrechten Blechcylinder ein zweiter, ebenfalls wasserdichter Blechcylinder auf- und abgelenkt und damit die Ketten über Rollen aufzieht oder nachläßt; hierbei hat der Plungerquerschnitt 5,25 qm Grundfläche und erreicht die Druckwassersäule eine Höhe von 18,3 m über der Wasserhöhe des Flusses; die in der Kette auftretenden Kräfte sind in einem Kräfteplan zusammengestellt. Bezweckt wird durch die ganze Anordnung: Vollständiger Wegfall irgend welcher Getriebe, sehr geringer Kraftaufwand (das erforderliche Wasser wäre einer Wasserleitung zu entnehmen oder aus dem Fluß zu pumpen), sowie sehr sanfter, durch Ventile jederzeit leicht zu regelnder Gang der Zugketten. Zu einer praktischen Verwertung hat unseres Wissens der Vorschlag nicht geführt; er dürfte auch nur für Länder ohne Winterkälte, wenn kostspielige Bauten zum Schutze der der Kälte ausgesetzten Oberflächen der Wassercylinder vermieden werden sollen, in Betracht kommen können.
5. A proposed lift bridge at Duluth (Minn.) J. A. L. Waddell, Railroad Gaz. 1892, S. 259, mit Taf. Der Erbauer der Halsted-Hubbrücke beschreibt eingehend den Entwurf einer Hubbrücke, die in den wesentlichsten Punkten der eben genannten Brücke nachgebildet, dabei aber für weit größere Abmessungen des freien Schiffsfahrtsprofils bestimmt ist.
6. *Lift bridge over the Harlem river, New-York. Railroad Gaz. 1892, S. 424, mit Abb. Ebendasselbst S. 667. Kurze Mitteilung über deren Inbetriebsetzung.
P. Crépy, Déplacement d'une pile de pont levis sur la rivière de Harlem (E. U.). Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 360, mit Abb. Die auf S. 72, Fig. 72 abgebildete Brücke mußte anlässlich des endgiltigen Baues einer viergleisigen Eisenbahn-Drehbrücke versetzt werden, um während dieses Baues den Bahnverkehr aufrecht erhalten zu können. Die Versetzungsarbeiten wurden in folgender Weise vorgenommen: Das Gewicht der eisernen Pfeiler wurde um 100 t verringert (hiervon treffen 85 t auf das Gegengewicht), sodaß die zu bewegende Last nur mehr 180 t betrug; nun wurde der ganze Pfeiler auf Schienen, die auf einer auf Pfählen ruhenden Holzbrücke aus Hölzern von $0,30 \times 0,30$ m lagerten, mittels 6 Drahtseilen nachts um 12 $\frac{1}{2}$ Uhr (um den Bahnverkehr nicht zu unterbrechen) innerhalb 21 Minuten vorerst um 16,5 m aus seiner bisherigen Stellung weggeschoben, die daselbst entstandene Lücke sofort geschlossen und der Bahnverkehr von 3 Uhr 20 Minuten morgens ab bereits wieder aufgenommen. Der Pfeiler selbst konnte hierauf ohne Überhastung an die neue Baustelle gebracht und daselbst eingestellt werden.
7. *Le pont-levant de Larrey. M. Galliot, Ann. des ponts et chaussées 1893 II, S. 261, mit Taf. 19 bis 21. Beschreibt in eingehendster Weise auf 73 Seiten an der Hand vieler Zeichnungen vorliegende Brücke; auch ist eine ausführliche Berechnung der Bewegungsvorrichtungen gegeben.
R. Audra, Le pont-levant de Larrey. Génie civil 1894, Bd. 25, S. 161, mit Abb. und Taf. 11. Giebt einen kurzen Auszug aus den Ann. des ponts et chaussées.
8. *Lift bridge over the Chicago river (Halsted). Engineering 1894 I, S. 776, mit Abb. und Doppeltafel, Ebendasselbst 1894 II, S. 6, mit Doppeltafel und S. 24, mit Abb. Sehr viele und deutliche Zeichnungen.

P. Crépy, Pont-ascenseur à Chicago. Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 378, mit Taf. 25, Ebendasselbst Le pont à relèvement de Halsted street, Chicago 1895/96, Bd. 28, S. 81, mit Abb. u. Taf. 6. Enthält 2 große, deutliche Schaubilder der geöffneten und geschlossenen Brücke.

Die neue Hubbrücke über den Chicago-Fluss in Chicago. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1893, S. 191 u. 656, mit Abb.

Halsted lift bridge. Railroad Gaz. 1893, S. 143, m. Abb., Ebendasselbst 1894, S. 234, m. Abb.

The Halsted lift over the Chicago river. Engineering News 1894 I, S. 320, mit Abb. und Tafel.

Th. Landsberg, Die Hubbrücke über den Chicago-Fluss in der Süd-Halsted-Straße. Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 102, mit Abb.

L. le Roud, Pont-levant de Chicago. Nouv. ann. de la constr. 1894, S. 138, mit Abb.

J. A. L. Waddell, The Halsted street lift bridge. American society of civ. eng. 1895, S. 1, mit Abb. und Taf. 1 bis 5. Der Erbauer der Brücke giebt auf 36 Seiten eine sehr eingehende Beschreibung dieses Bauwerkes; auf weiteren 23 Seiten veröffentlicht er den Meinungsaustausch, der sich mit einer Reihe von Fachgenossen hierüber entsponnen hatte. Die Abbildungen enthalten einige sonst nirgends veröffentlichte Einzelheiten.

9. A new lift bridge for Kansas city. Railroad Gaz. 1895, S. 861, ohne Abb. Für diese Stadt soll von Waddell eine Hubbrücke ganz ähnlich der Halsteder, nur für viel größere Durchfahrtsbreite gebaut werden; die letztere würde 128,32 m bei 13,71 m Höhe betragen. Die Brückenbreite ist mit 19,81 m angegeben, von welcher 9,75 m dem Eisenbahn-, $2 \times 3,51$ m dem Straßsen- und $2 \times 1,52$ m dem Fußgängerverkehr dienen sollen.

A lift span 128,32 m. Engineering News 1895 II, S. 401. Kurze Angaben über diesen Entwurf Waddell's.

10. Pont levant sur la Lis, à Houplines. Ann. des trav. publ. de Belgique 1896 I, S. 7, mit Abb. und Taf. 1 u. 2. Es war eine ganz ähnliche Aufgabe wie bei der Larrey-Brücke zu lösen; die Durchfahrtsbreite betrug 7,25 m und die Durchfahrt unter dieser Brücke war auf diese Länge zeitweilig 2,9 m hoch frei zu halten. Die Entfernung der beiden Kaimauern ist hierbei 21 m. Da keine Wasserkraft vorhanden und die Aufstellung eines Gasmotors seitens der Behörde nicht geduldet wurde, mußte zum Handbetrieb gegriffen werden. Die Überbrückung der ganzen Kanalbreite erfolgte dreiteilig, indem auf die beiden Kaimauern Gitterpfeiler aufgestellt und diese mit Fachwerksparrallelträgern von 1,8 m Höhe verbunden wurden; die unbeweglichen, an die Kaimauern in Straßsenhöhe anschließenden Brückenteile sind, an den oberen Fachwerkträgern hängend, mit derselben fest verbunden und bilden ihrerseits die Auflagerung und Führung für das mittlere, 7,25 m lange, bewegliche Brückenstück, dessen Gewicht im Betrag von 12 t bis auf 0,1 t gegengewichtet ist, sodaß ein Mann mittels eines gewöhnlichen Kurbelgetriebes bei 13 kg Kurbeldruck die an Galle'schen Ketten aufgehängte Mittelöffnung bequem heben und senken kann. Die festen Brückenteile sind durch Pfahlwerk gegen anfahrende Schiffe geschützt. Bei 4,38 m Hauptträgerentfernung und 4 m nutzbarer Fahrwegbreite, für eine Belastung durch einen 18 t-Wagen berechnet, betragen die Gesamtkosten 55080 M., wovon 32400 M. auf den eisernen Überbau und Zubehör, 22680 M. auf die Widerlagerherstellung treffen. Der bewegliche Teil des Überbaues wurde aus Stahl, die festen Teile aus Schweißseisen angefertigt.

IV. Roll- und Kranbrücken.

Wenn auch diese beiden Systeme bei der Ausführung neuerer beweglichen Brücken weniger Berücksichtigung fanden, hat gleichwohl die erstgenannte Brückengattung eine weitere Ausbildung erfahren, da wiederholt bei Entwürfen ganz hervorragender Brückenbauwerke dasselbe ausgedehnteste Verwendung gefunden. Bei dem Wettbewerb für die bedeutende Schifffahrtskanalbrücke in Duluth wurde die Anordnung einer Rollbrücke als die beste Lösung der gestellten Aufgabe erachtet.

a. Entwürfe für eine bewegliche Brücke über den Schiffahrtskanal in Duluth (vergl. Fig. 57, S. 43).

Die beachtenswerte Preisbewerbung für diese Brücke (vergl. S. 42) hat auch eine Reihe von Rollbrücken-Entwürfen gebracht, von denen der auf S. 43, Fig. 57 *e* dargestellte als der beste unter allen 20 Entwürfen mit dem ersten Preis ausgezeichnet wurde; es soll dieser, sowie die beiden weiteren Brücken dieses Systemes (Fig. 57 *g* u. *f* auf S. 43) kurz beschrieben werden.

α) Arentz und Sangdahl (Fig. 57 *e*, S. 43) wählten eine einfache Rollbrücke (*sliding draw bridge*) und trennten den Straßsen- von dem Trambahnverkehr, indem sie beide in verschiedener Höhe über die Brücke leiteten. Die Trambahngleise werden durch Rampenanlagen mit der Brücke verbunden. Beim Öffnen und Schließen der Brücke rollt sie auf einem Geleise rück- oder vorwärts. Das von dem durch Anordnung geneigter Wandungen nach allen Richtungen möglichst standhaft ausgebildeten Centralturm aufzunehmende Gewicht im Betrag von ungefähr 1200 t wird durch die 12 Hauptpfosten des Turmes (siehe Fig. 57 *e*, Grundriß) auf eine große Grundfläche verteilt, weshalb jeder Pfostenfuß auf einem Schemel, unter dem 6 Doppelrollen laufen, ruht; die Führung dieser ganzen Rollenschar erfolgt für jede Rolle (von 0,914 m Durchmesser bei 254 mm Breite mit starker Flansche in der Mitte) durch ein Paar 31,8 kg schwerer Stahlschienen auf schmiedeeisernen mit dem Grundmauerwerk verankerten Platten. Um die wegen der Verschiebung um 93,32 m erforderliche ausgedehnte Gründung auszunutzen und dabei an dem Brückengewicht zu sparen, sind alle unteren Knotenpunkte des Landarmes ebenfalls mit Schemeln ausgestattet, die auf je 4 Rädern (von 0,610 m Durchmesser und 127 mm Breite und nur einem Flansch auf der Innenseite) auf den Schienen der Turmgleise laufen. Während der Bewegung dienen jedoch diese Schemel hauptsächlich nur als Führung. Der erforderliche Überschufs an Gegengewicht für den Stromarm im Betrag von 200 t ist nächst den 3 Endfachen des Landarmes untergebracht. Das Abheben des Stromarmes vom Auflager erfolgt mittels elektrischen Antriebes vom Brückenende am Landarm aus, in der Weise, daß durch entsprechende Übersetzungen die an den Turmkopf schließenden oberen Gurtungsfache verkürzt werden. Die Bewegung der Brücke bewirken 6 je 38 mm starke Drahtseile, die über 1,52 m Rollen laufen und sich um mit Rollen versehene Trommeln von 3,05 m Durchmesser und 775 mm Breite, die auf die aus dem Maschinenhaus kommende Hauptwelle aufgekeilt sind, aufwinden. Als Kraftquelle dient eine 116pferdige Zwillingsdampfmaschine, die mit kraftvollen Bremsen ausgestattet und zum Umsteuern eingerichtet ist. Für die elektrische Beleuchtung der Brücke, sowie für die bereits erwähnte Endhebung und Bedienung der Signalvorrichtungen ist eine weitere kleine Dampfmaschine, von der eine Dynamomaschine angetrieben wird, vorgesehen. Die zum Öffnen oder Schließen benötigte Zeit ist mit 1 Minute, die Gesamtkosten sind mit 991200 M. angegeben.

β) Der Entwurf Sanne & Finley enthält eine seitlich bewegliche Zufahrt (s. Fig. 57 *g*)²⁴⁾; die Brücke wird durch einfaches Zurückrollen, nachdem durch seitliches Ausschieben der Zufahrt die Laufschiene frei geworden, geöffnet. Die Kosten der Brücke einschliesslich der Zufahrten sind auf 588000 M. berechnet.

γ) Entwurf SooySmith & Co. Die Gesamtanordnung ist aus Fig. 57 *f*, S. 43 ersichtlich. In der Mitte ist die Brücke in geschlossenem Zustand durch sehr kräftige Zapfen aus Phosphorbronze verbunden, die vor dem Öffnen durch ein von dem Hauptpfosten jeder Brückenhälfte ausgehendes Schraubenge triebe durch Dampfkraft zurückgezogen werden müssen; bevor die Brückenhälften selbst nun zurück-

²⁴⁾ Auf S. 43 irrtümlich mit *e* statt mit *g* bezeichnet.

gezogen werden, tritt eine kleine Kippbewegung um die wagrechte Pfeileraxe ein, wodurch die Brückenden erst von einem festen Auflager daselbst frei werden. Jede Brückenhälfte ist durch bewegliche Gegengewichte derart im Gleichgewicht gehalten, daß ohne Berücksichtigung des Windes die Reibungswiderstände allein zu überwinden wären. Die Gesamtkosten sind mit 588 000 bis 798 000 M., je nach deren Höhe über dem Wasserspiegel, angegeben. Ein ganz ähnlicher Entwurf Waddells ist auf 646 800 M. veranschlagt. Diese Brücken benötigen beiderseits des Flusses große Streifen Landes.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellenachweis).

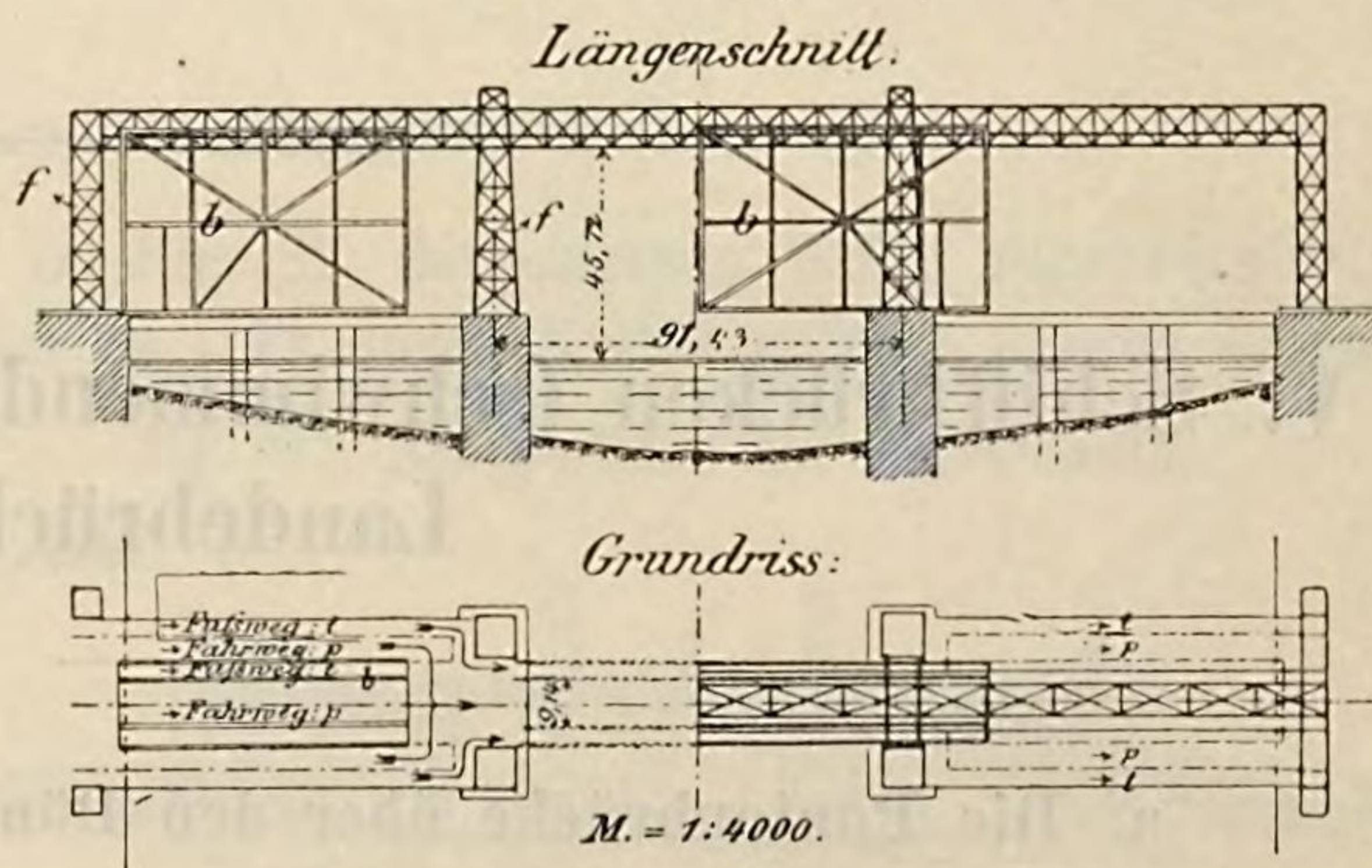
Rollbrücken, Kranbrücken und Brücken mit beweglicher Bühne betreffend.

1. *Competitive designs for a bridge over the Duluth ship canal. Engineering News 1892 II, S. 390, mit Tafel.

P. Crépy, Projets d'un pont mobile sur le canal de Duluth. Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 101, mit Taf. 7.

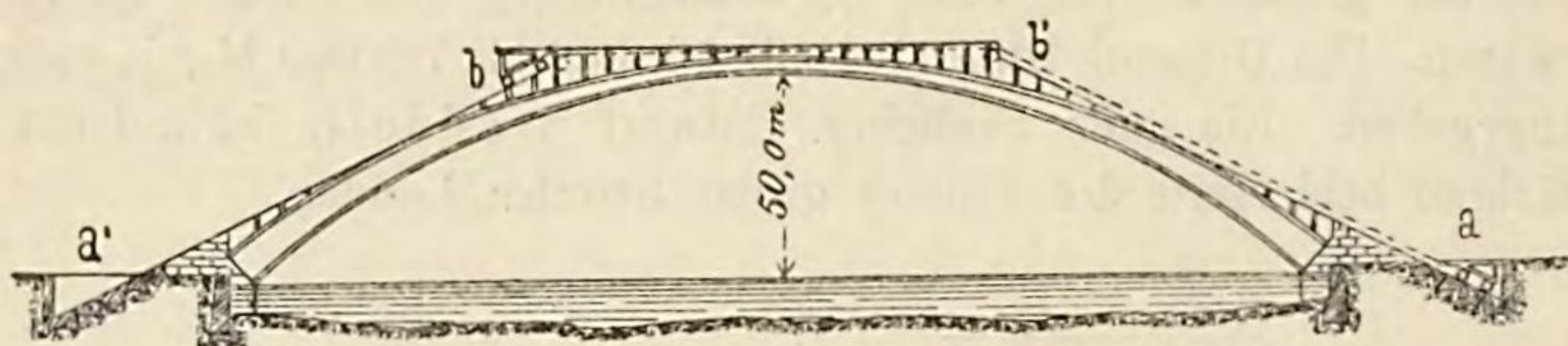
2. Rolling platform bridges. Engineer 1893 II, S. 382, mit Abbild. Giebt eine der vielen, anlässlich des Baues der Tower-Brücke geplanten Lösungen der damals gestellten Aufgabe. Die Steinkonstruktion reicht bloß bis über Hochwasser. Die beweglichen Plattformen b sind mittels Rollen an dem oberen durchlaufenden Fachwerkträger aufgehängt, über dessen Mittelfeld der Fußwegverkehr durch Aufzüge oder Treppen in den mittleren Pfeilertürmen ununterbrochen erfolgen kann. Den Fahrverkehr vermitteln die unten gelegenen Plattformen der Kastenträger b , die in der Straßenhöhe liegen, ohne Zufahrtsrampen zu benötigen. Abgesehen von der wenig gefälligen äußeren Erscheinung dieses Entwurfes enthält er einen unter Umständen brauchbaren Grundgedanken.

Fig. 80. Vorschlag für die Tower-Brücke in London (nicht ausgeführt).



3. J. E. Tuit, The Tower bridge, London 1894. S. 19, Fig. 1 und S. 29 Beschreibung hierzu. Entwurf einer Rollbrücke über die Themse von Barclay Bruce, 1876. Die Themsebreite von 241 m teilte Bruce in 7 gleiche Öffnungen von je 30,48 m Lichtweite mit Zwischenpfeilern von 4,57 m Stärke, über die eine bewegliche Plattform, von 91,44 m langen Parallelfachwerkträgern getragen, gerollt werden konnte; bei diesem Verhältnis zwischen Lichtweite und Träger mußten immer mindestens 2 Pfeiler den Rollenträger unterstützen. Das Gewicht des ganzen beweglichen Teiles unter Zugrundelegung einer Belastung von 776 kg/qm durch Verkehrslast giebt der Verfasser zu 5000 t, die Gesamtkosten, einschließlich der Maschinerie, auf 2 937 600 M. und die jährlichen Betriebskosten auf 204 000 M. an; hierbei gedachte er innerhalb 3 Minuten 100 Fahrzeuge und 1400 Passagiere überzusetzen.
4. G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894. S. 255, mit Abb. Eine Rollbrücke in Tien-Tsin (China) für Straßenverkehr ist aus 2 Teilen gebildet, um über 2 Zwischenpfeiler aus Eisen über die Widerlager hinausgerollt werden zu können, bis zwischen den Pfeilern eine Durchfahrtsweite von 8,5 m vorhanden ist. Die Bewegung erfolgt durch Winden innerhalb der Pfeiler, Zahnräder und Zahngestänge; letzteres ist in der Längsrichtung der Brücke unter deren Fahrbahntafel befestigt.
5. Die neue Brücke über die Themse in London unterhalb des Tower. Barkhausen, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 411, mit Abb. Für eine weitere, stromab der neu erbauten Tower-Brücke geplante Brücke ist der in Fig. 81 gegebene Vorschlag gemacht worden. Die Bogenbrücke, die der Schifffahrt genügend Durchfahrts Höhe gewährt, dient dem Verkehr zweier Wagen a und b , die an demselben Seile hängend sich wechselseitig als Gegengewicht dienen.

Fig. 81.

Vorschlag für eine Themse-Brücke in London.*Maafstab = 1:4500*

Werden zwei solche Seilbahnen mit entgegengesetzt gerichtetem Betrieb zu gleicher Zeit in Gang erhalten, so kann ein nahezu ununterbrochener Fuhrwerksverkehr aufrecht erhalten werden, während der Fußgängerverkehr mittels der leicht anzubringenden Treppen-Anlagen stets ungehindert stattfindet.

6. A novel swinging foot bridge. Engineering News 1895 I, S. 50, mit Abb. Anlässlich der Ausbesserung einer Drehbrücke in San Francisco wurde mit sehr einfachen Mitteln eine Kranbrücke für Fußgängerverkehr, die nur vorübergehend Dienste zu leisten hat, hergestellt. Als Drehzapfen dient ein 30,48 m langer, runder Pfahl, der 12,19 m über den Kai reicht und nach drei Richtungen mit Seilen verankert ist. Die Brückenträger sind einfache Hängewerke, deren Untergurt je aus einem 18,9 m langen Balken besteht; das eine Brückenende ist um den Hauptpfahl drehbar, das andere Ende ist durch ein Seil mit dem Kopf des letzteren ebenfalls wagrecht drehbar verbunden; der Hauptpfahl ist nicht genau lotrecht, sondern um 0,61 m gegen die Brückenlängsaxe vornüber geneigt; soll die Brücke seitwärts gedreht werden, so braucht nur das zur Rückverankerung dienende Seil mittels einer Winde etwas angezogen zu werden, wodurch das Brückenende sich vom Auflager abhebt. Nach dem Eindrehen kommt die Brücke durch die Wirkung des Eigengewichtes in die Ruhelage. Die Einzelheiten dieser sehr einfachen Anordnung sind durch deutliche Zeichnungen klargestellt.

V. Schiffbrücken (schwimmende Brücken), Fähren und Landebrücken.

a. Die Pontonbrücke über den Düna-Strom bei Riga [Litt. 20].

Die neue, an Stelle einer Floßbrücke erbaute, 524,13 m lange Pontonbrücke zeigt wesentliche Vervollkommnung in dem Bau dieser Brückengattung, die um so beachtenswerter sind, als diese Brücke einen hervorragenden Platz unter ihresgleichen einnimmt, sowohl in Bezug auf ihre Größenverhältnisse, als auch mit Rücksicht auf die hohen Anforderungen, die an ihre Leistungsfähigkeit infolge der örtlichen und klimatischen Verhältnisse des Landes gestellt werden müssen.

Die Pontonbrücke (in ihrem endgiltigen Zustand) setzt sich zusammen aus 14 Normalelementen, 2 ausfahrbaren Öffnungen zum Durchlassen der Schiffe und 2 Uferelementen, die den Anschluß der Brücke mit den Ufern zu vermitteln haben. Die Brückenbreite beträgt 13,96 m (= 10,76 m [Fahrweg] und $2 \times 1,6$ m [Fußweg]). Die Fahrbahntafel und Fußwege sind aus Holz. Ein Normalelement hat 32 m Länge und ist aus 4 Fachwerkträgern mit kastenförmigen Gurtungen gebildet. Die Entfernung der die Fachwerkträger stützenden Pontons ist 19,5 m, sodaß über die letzteren die Fachwerkträger um je 6,25 m herausragen. Die Pontons sind vollkommen geschlossene Hohlkörper aus Eisenblech, die durch 4 Querwände in 5 wasserdichte Einzelräume zerlegt werden. Die ovalen Pontons spitzen sich gegen beide Enden hin zu, und gehen schließlich in eine scharfe Spitze aus. Die gesamte Länge von Spitze zu Spitze aller Normal-

elemente ist 26,05 m, die der Uferelemente nur 23,16 m. Jede der 5 wasserdichten Abteilungen ist mittels gut abdichtender Mannlöcher zugänglich gemacht, um Nachbesserungen vornehmen zu können. Die Pontons sind, mit Rücksicht auf den Widerstand beim Eisgang, in dem Flußgrunde in neuer, sehr zweckmäßiger Weise durch sich kreuzende Ketten von 38 mm Gliedstärke verankert, wodurch deren Widerstandsfähigkeit gegen Treibeis erheblich gesteigert wird. Durch die neue Anordnung der Brückenelemente wird bei 5,5 m Wassertiefe die nutzbare Querschnittsfläche nur um 6% durch die Pontons verengt. Die eigenartige Gestalt der Pontonenden in Verbindung mit der oben erwähnten Verankerungsweise mittels Ketten befähigt die Pontons als sehr kräftige Eisbrecher zu wirken. Durch eine ebenfalls neue, sinnreiche Verbindung der einzelnen Brückenelemente mittels Stellschrauben an den zusammenstoßenden Kragarmenden erfolgt ein elastisches Übertragen einzelner Lasten auf eine grössere Anzahl von Pontons, wodurch ein gleichmäßigeres Eintauchen der mehr und weniger belasteten Pontons erzielt wird.

Ein Ponton eines Normalelementes wiegt 22,3 t und besitzt eine Tragkraft von 180 t. Bei den Uferelementen verringern sich diese Zahlen auf 14,3 bzw. 128 t. Das Gewicht des eisernen Oberbaues eines Normalelementes (32 m lang) beträgt 60,6 t, also 1,9 t/m Brückenlänge. Die der Tragkraftberechnung zu Grunde gelegten Belastungen sind 400 kg/qm für die Fahr- und 560 kg/qm für die Fußwege.

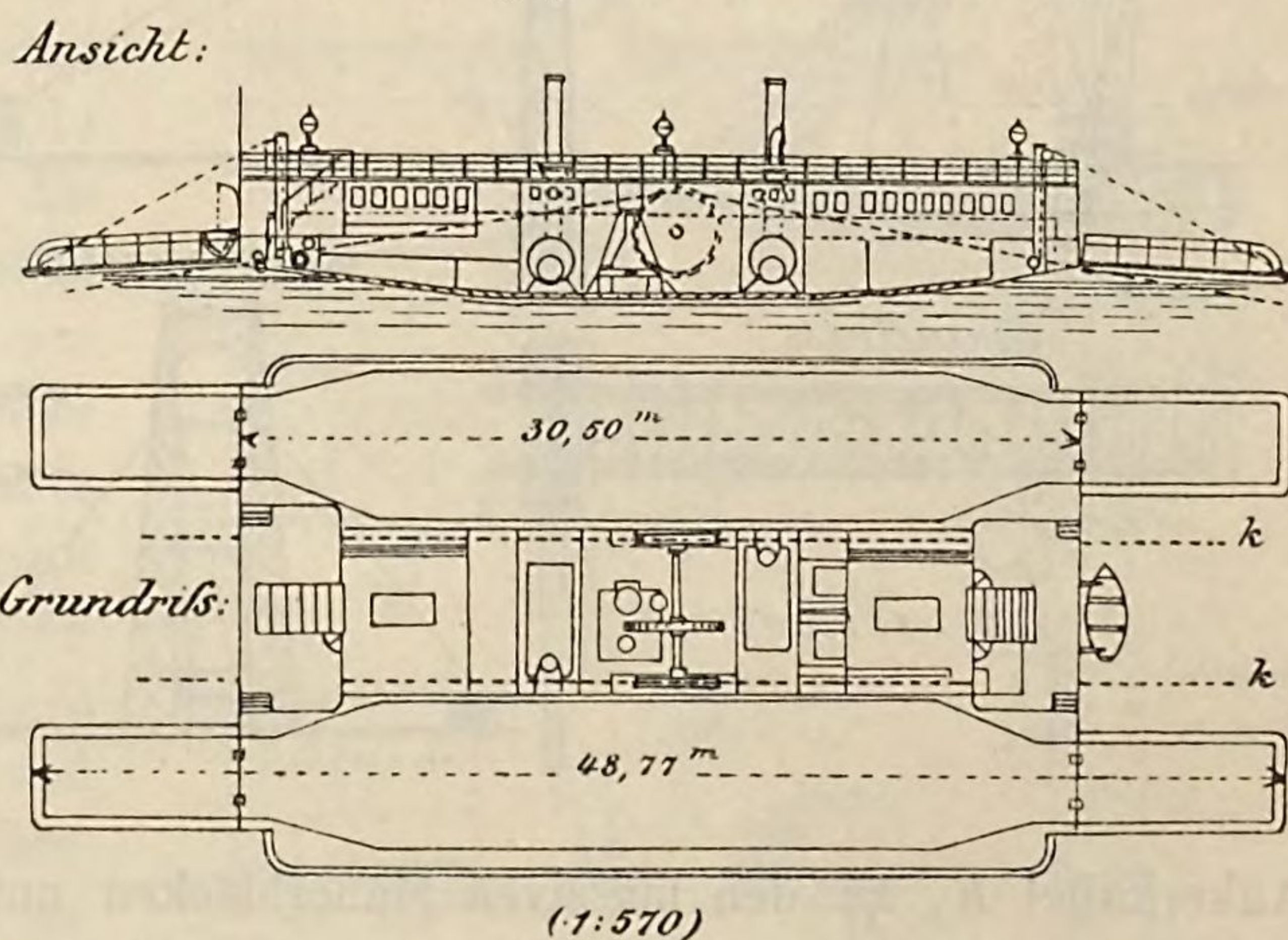
b. Die Schiffsfähre bei Portsmouth [Litt. 8].

Schiffsfähren, wenn sie in der in Fig. 82 dargestellten Weise angeordnet sind und, wie meistens der Fall ist, von Ufer zu Ufer durch Ketten geführt werden können, besitzen folgende nicht unerhebliche Vorzüge: 1. Die Anschaffungskosten sind verhältnismässig nicht sehr groß; 2. Wind und wechselnder Wasserstand stören den Betrieb wenig; 3. bedürfen sie keiner Schiffahrtskunst; 4. können sie, wenn für Dampfbetrieb eingerichtet, jeden Augenblick angehalten werden; 5. ist die erforderliche Betriebskraft sehr gering.

Die in Fig. 82 dargestellte, im Herbst 1892 in Betrieb gesetzte Dampffähre ist im wesentlichen nichts anderes als ein Neubau der seit 1840 im Betrieb stehenden Holzfähre in neuer, den heutigen Anschauungen und Anforderungen entsprechender Ausführung und Ausstattung.

Der Schiffskörper ist 30,50 m lang und 18,90 m breit und hat nur 0,46 m Tauchungstiefe. An jedem Ende sind 2 Schnäbel (*prows*) angebracht, um die Landung bei jedem Wasserstande leicht ausführen zu können; die Eigengewichte dieser Schnäbel halten sich, da sie miteinander durch Ketten verbunden sind, im Gleichgewicht. Die Kabinen, Kessel und Maschinen sind im länglichen Mittelraum untergebracht und dieser ist, sowie auch das obere Promenadendeck durch Stiegen von verschiedenen Seiten aus

Fig. 82. Schiffsfähre bei Portsmouth.



zugänglich gemacht. Die alten Führungsketten aus weichem Stahl und 38 mm starken Gliedern ohne Stege wurden wieder verwendet. Die große Stärke der Ketten hat den Vorzug, daß sie sehr steil ins Wasser abfallen, mithin in kurzer Entfernung vor und hinter dem Schiff bereits 6 bis 9 m Wassertiefe für die Schifffahrt vorhanden ist; auch nutzen sich die Ketten sehr wenig ab und bedürfen die Kettenräder, die aus Stahlguß sind und deren Zähne ausgewechselt werden können, selten einer Ausbesserung.

Das Fährschiff ist mit 2 Hochdruckmaschinen ausgestattet; an eine derselben ist eine Dynamomaschine für die elektrische Beleuchtung gekuppelt, die in erster Linie für den Maschinenraum, dann für das Schiff überhaupt zu dienen hat. Nur eine dieser Maschinen ist ständig im Betriebe, die andere dient als Rückhalt; bei eintretendem Unfälle der Hauptmaschine kann die Fähre überdies von Hand bewegt werden. Der ganz aus Stahl gebaute Schiffskörper ist in 5 wasserdichte Abteilungen zerlegt. Eine Fahrt benötigt 5 bis 6 Minuten zur Zurücklegung eines Weges von 548 m und wird alle halbe Stunde ausgeführt. Dies ist ein großer Nachteil des Fährschiffes, kommt im vorliegenden Falle jedoch weniger in Betracht, da außer ihm alle 10 Minuten kleine Dampfboote verkehren. Der Fassungsraum des Schiffes beträgt 1000 Personen. Angaben über Anschaffungs- und Betriebskosten fehlen.

c. Die Fähre von Portugaleta [Litt. 13]

dient zur Verbindung der Stadt Portugaleta mit dem Seebad Las Arenas. Diese Brücke löste in neuer Weise die Aufgabe, unter Freihaltung eines außergewöhnlich großen

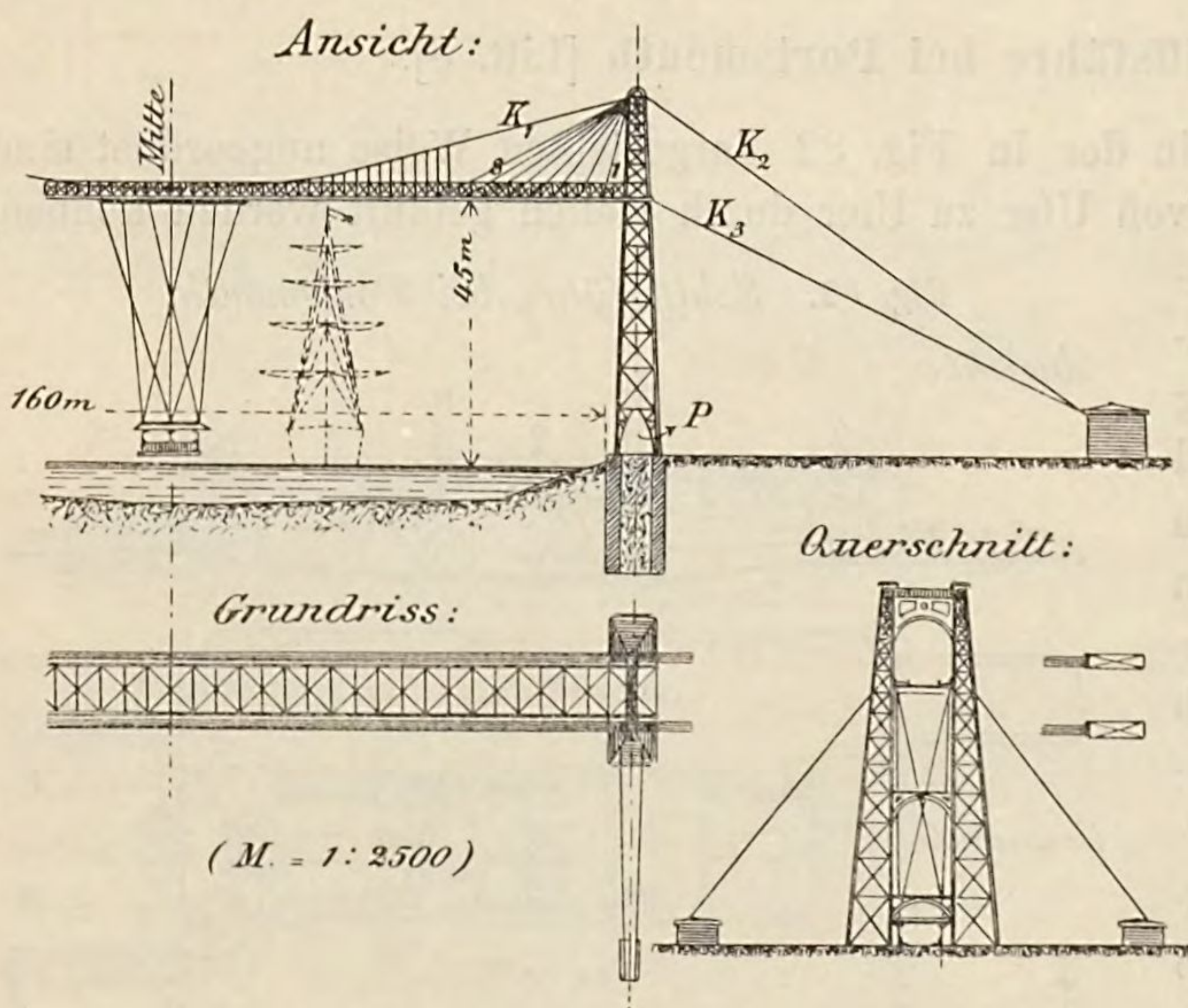
Raumes für die Schifffahrt (im vorliegenden Falle 160 m Breite und 45 m Höhe) einen Uferverkehr, wenn auch nicht ununterbrochen, herzustellen.

Die 61 m hohen Pfeiler sind aus Winkeleisen $150 \times 150 \times 11$ mm und 11 mm dicken Blechen zusammengesetzt; die 2 Hauptkabel K_1 werden aus je 4 Drahtseilen von je 22 qcm gebildet; die schrägen Absteifungskabel 1 bis 8 haben 4,23 bis 6,77 qcm Querschnittsfläche. Alle diese Kabel vereinigen sich auf dem Pfeilerkopf in einem wagrecht verschieblich gelagerten Bolzen, von dem aus die

Ankerkabel K_2 zu den massiven Mauerblöcken unten führen. Die Brücke ist heftigen Stürmen ausgesetzt und für 275 kg/qm Winddruck berechnet. Die Kabel aus weichem Stahldraht besitzen eine Zerreißungsfestigkeit von 9000 kg/qcm; das Stahlmaterial der Pfeiler 6000 kg/qcm bei 22% Dehnung; die oberen Brückenträger aus weichem Stahl 4400 kg/qcm bei 24% Dehnung; die zulässige Beanspruchung betrug 1000 kg/qcm.

Der bewegliche Brückenteil, die Plattform (*charriot transbordeur*) hat bei 8 m Länge und 6,25 m Breite für 150 Personen Sitzplätze, ist mit 18 Drahtseilen an die oberen Führungsrollen angeschlossen und legt die Fahrt von 160 m in nicht ganz einer Minute zurück. Der Antrieb erfolgt durch eine 25pferdige Dampfmaschine, von der jedoch bloß 5 Pferdekkräfte für die Förderung der Brückengondel in Anspruch genommen

Fig. 83. Fähre von Portugaleta.

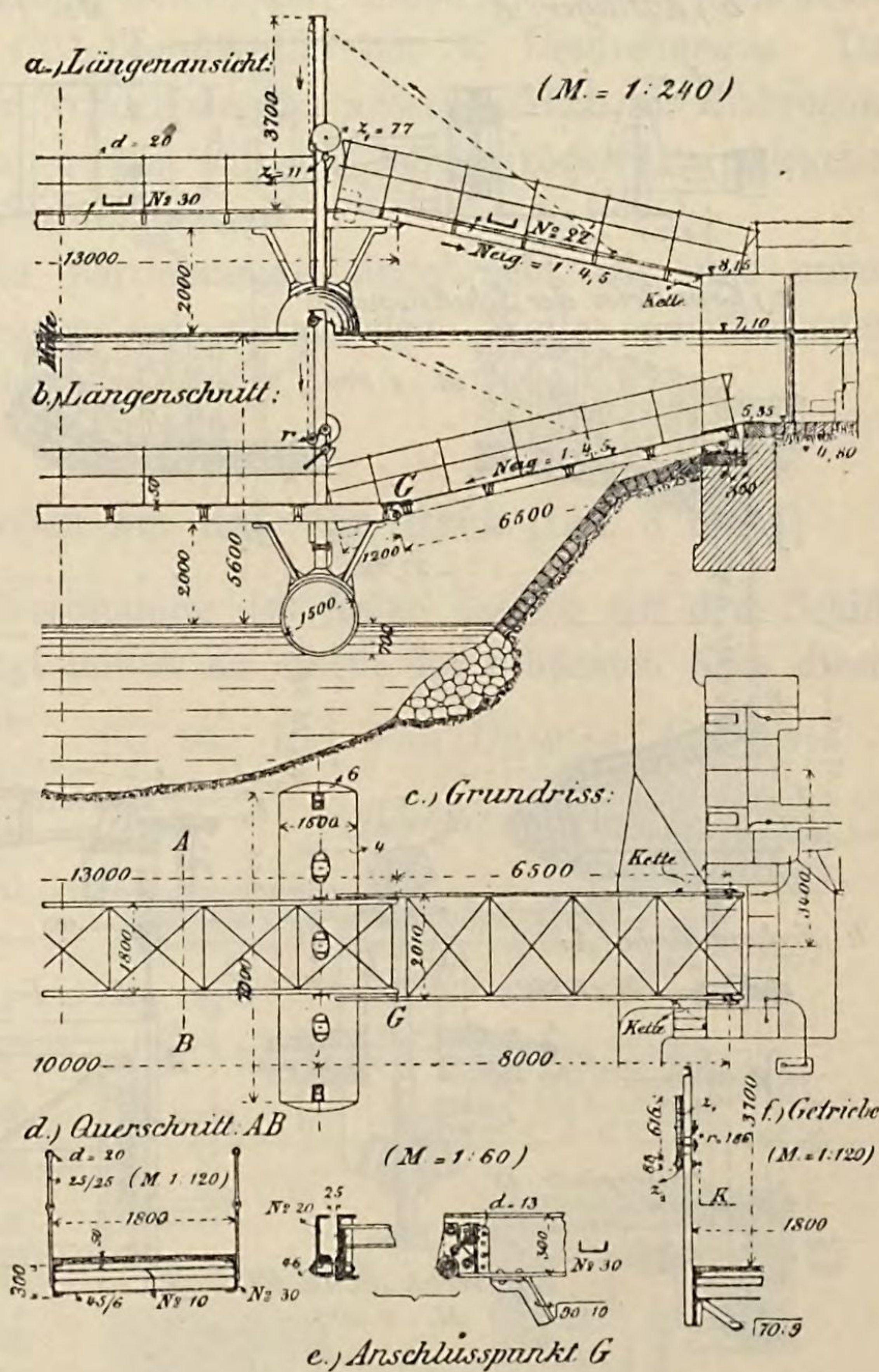


werden; die übrige Kraft der Dampfmaschine wird für Beleuchtung und andere Zwecke abgegeben. Eine schaukelnde Bewegung der Gondel soll sich nicht bemerkbar machen. Die Prüfung der Brücke erfolgte mit 40 t Last. Erdacht wurde die Brücke von dem spanischen Architekten De Palacio und durchgebildet und gebaut von dem französischen Ingenieur Arnodin. Unbestreitbare Vorteile dieses Systems sind geringster Bedarf an Baugrund und Entfall jeglicher Rampenanlage.

d. Schwimmende Fußgängerbrücke über die Einfahrt zum Mosel-Sicherheitshafen bei Koblenz [Litt. 1].

An Stelle einer alten Schiffbrücke wurde der in Fig. 84 dargestellte schwimmende Fußgängersteg, rechtwinkelig die Hafenmündung überschreitend, errichtet. Die drehbaren Aufsenklappen ruhen landwärts auf 200 mm starken Gufsrollen; wasserwärts sind sie in der aus Fig. 84 e ersichtlichen Weise an das mittlere Schwimmfeld angeschlossen. An dem über *G* vorragenden Kragstück von 1,20 m Länge sind 500 kg schwere Gegengewichte angebracht. Die Längswandungen der beiden Schwimmtonnen sind aus 4 mm, die gewölbten Enden aus 6 mm starkem Blech hergestellt. Jede Aufsenklappe besitzt 2 Winden *K* (Fig. 84 f) zum Aufziehen, so daß 4 Mann zur Bedienung erforderlich sind. Um den verlangten nutzbaren Wasserhöhenunterschied von 5,6 m ohne allzu steile Aufsenfelder zu erhalten, sind 2 nebeneinander gelegene Zugänge in 2,8 m Höhenunterschied angeordnet; die Stellungen der Brücke für die beiden Grenzstellungen sind in Fig. 84 a eingezeichnet. Für die Durchfahrt großer Schiffe und bei Eisgang wird die ganze Brücke ausgefahren. Bei einer Tragkraft von 280 kg/qm belaufen sich die Gesamtkosten auf 12410 Mark, wovon 8000 Mark auf die Widerlager- und Rampenanlage, 3900 Mark auf den eisernen Überbau und 510 Mark auf die Bedienung entfallen.

Fig. 84.
Schwimmende Fußgängerbrücke in Koblenz.

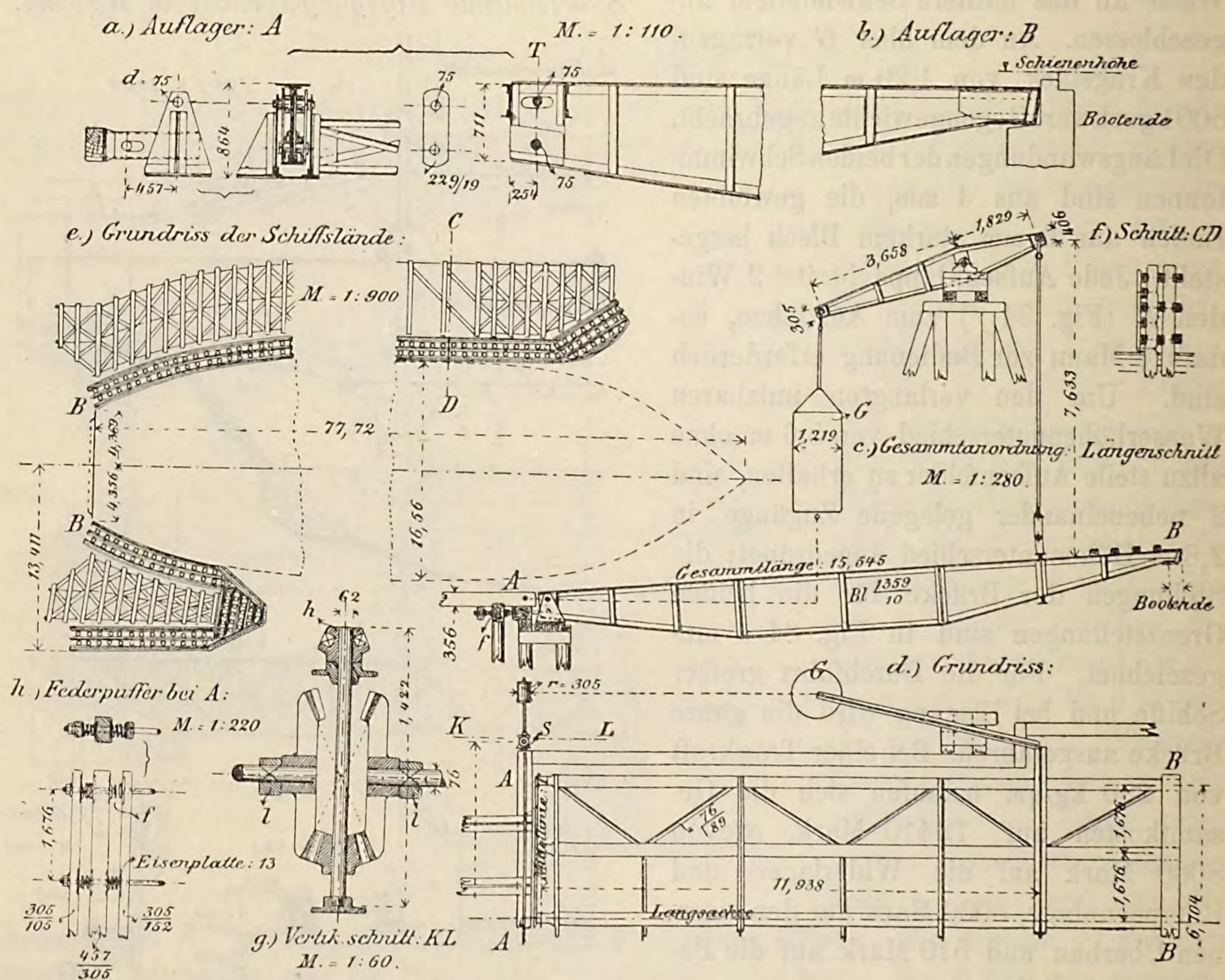


e. Fähre über den Michigan-See und Landungsbrücke dazu [Litt. 11].

Das Fährschiff, in dessen oberem gedeckten Raum 4 Geleise für Eisenbahnzüge (insgesamt für 24 Wagen) liegen, landet in einer aus Pfahlreihen und Längshölzern gebildeten Bucht, die genau die Form des Schiffes haben sollte, siehe Fig. 85 e u. f; ersterer mögen auch die Hauptabmessungen des Schiffes entnommen werden. Bei der Herstellung dieser Landebucht waren erhebliche Schwierigkeiten zu überwinden, da

man beim Pfähleschlagen teilweise auf altes Holzwerk stieß, teilweise in schwarzen Schlamm geriet, sodaß statt 13,68 m 21,28 m lange Pfähle verwendet werden mußten. Die Rammen, auf Flößen aufgestellt, hatten eine Höhe von 16,72 m und der Fallbär wog 1,27 t. Alle Pfähle waren mit Eisenschuhen beschlagen. Sämtliche, dem Anprall des Fährbootes ausgesetzten Hölzer sind aus Eichenholz, die kurzen Pfähle aus Eichen- oder Ulmen-, die langen aus Fichtenholz. Beim Aus- und Einladen der Eisenbahnzüge erfolgt die Verbindung der Schiffsgeleise mit den festen Geleisen am Lande durch die in Fig. 85 c u. d dargestellte Zugbrücke, deren Wirkungsweise aus der Zeichnung klar ersichtlich ist. Die Hauptträger sind 15,58 m lange Blechträger aus 10 mm dicken Wandblechen, ungleichschenkeligen Gurtungswinkeln, 150×100 mm und $330 \times 12,5$ mm starken Deck-Flacheisen zusammengesetzt und durch 75×75 mm Winkel entsprechend abgesteift. Die Brückenbreite von 8,51 m genügt für 4 Reihen Güterwagen.

Fig. 85. Landebrücke für die Fähre über den Michigan-See.



Die Handhabung der Brücke ist folgende: Da das Gegengewicht G bloß das Eigengewicht der Zugbrücke auszugleichen hat, erfolgt das je nach der Tauchungstiefe des Fährschiffes erforderliche Heben oder Senken der Landungsbrücke durch Antrieb von der Hauptwelle A (Fig. 85 d) aus, die ihrerseits durch Kegelradübersetzung mittels bei h (Fig. 85 g) bzw. bei S (Fig. 85 d) eingesteckter Tummelbäume in Bewegung gesetzt wird, und nun mittels der am Gegengewicht G befestigten Kette die auf dem hölzernen Querbock (Fig. 85 c u. d) um wagrechte Drehaxen beweglichen Eisenhebel

(2:1) dreht; die erforderliche Hebekraft leistet dabei das Gegengewicht G durch Vergrößerung seines Schwerpunktabstandes von der Drehaxe des Hebels.

Um die beim Anfahren des Fährschiffes (1000 t Tragkraft) unvermeidlichen Stöße unschädlich zu machen, wurde die Federpufferung f (Fig. 85 c u. h) angeordnet.

Die beiden völlig gleich gebauten Fährschiffe besitzen eine Tauchtiefe von 3,65 m (die Tiefe der Landungsbucht ist 5,63 m) und eine Wasserverdrängung von je 2550 t; da sie häufig bei Treibeis und heftigen Stürmen die 100 km weite Strecke zurückzulegen haben, sind dieselben sehr kräftig gebaut, und überdies gegen Eisgefahr durch 5 mm Stahlbänder, die auf 125 mm starkem Eichenholz befestigt, bis 1,20 m ober- und unterhalb der Wasserlinie reichen, geschützt. Der Schiffsschnabel ist bis auf den Kiel reichend mit Stahlverkleidung ausgestattet, da das Schiff auch als Eisbrecher zu dienen hat. Jedes Schiff ist mit einer wagrechten Verbundmaschine von 508 bzw. 1016 mm Cylinderdurchmesser und 912 mm Hub und Kondensationsvorrichtung ausgestattet; die 4 Kessel, von denen 2 im vorderen, 2 im rückwärtigen Schiffsteil aufgestellt sind, können alle gemeinsam auch nur einer Maschine Dampf liefern und haben 9,5 Atm. Dampfdruck. Die Diagramme jeder Maschine zeigen 610 Pferdekräfte bei 86 Umdrehungen. Das Schiff besitzt 3 Schrauben, von denen die vorn gelegene ausschließlich als Eisbrecher, um den Schnabel möglichst frei zu halten, wirken soll, die beiden rückwärts gelegenen die Vorwärtsbewegung des Schiffes zu leisten haben.

Im Schiffsraum sind entsprechende Vorrichtungen angebracht, die eine unverschiebliche Stellung jedes einzelnen Wagens bei stürmischem Wetter gewährleisten. Angaben über Kosten und Gewichte fehlen.

f. Die Landungsstelle in Antwerpen am Kai Van Dyck [Litt. 3 u. 14]

bietet die für den Verkehr angenehmste Verbindung des festen Landes mit dem Schiffe und zwar bei jedem Wasserstand; sie liegt mitten an einem der schönsten Kais dieser Stadt. Die Anlage selbst gestaltet sich überaus einfach: zwei schwimmende, nur lotrecht bewegliche Pontons, durch Brücken, deren Neigung bei ungünstigem Wasserstand 15% nicht überschreitet, mit dem Ufer verbunden, vermitteln den Verkehr zwischen Schiff und Land. Das große Ponton (100 $\times$ 21 m) 2 m tief, dient für die Beförderung der Wagen, ein kleineres (20 $\times$ 10 m) für die der Fußgänger und der Tiere. Das erstere ist aus 5 einzelnen, 20 m langen, mit Pumpen und Einsteigöffnungen ausgestatteten Teilen zusammengesetzt, und erfolgt die Führung desselben an den Kaimauern, beim Heben und Senken hervorgerufen durch Flutwechsel, mittels der in Fig. 86 a gezeigten Anordnung; das Wegschwimmen desselben wird durch die in Fig. 86 b dargestellten Nischen, in denen Rollen laufen, die mittels Puffer mit dem Ponton verbunden sind, verhindert. Die Zufahrtsbrücke ist beim großen Ponton 40 m lang, 6 m breit und hat eine größte Neigung von 10%; bei dem

Fig. 86. Kai Van Dyck in Antwerpen.

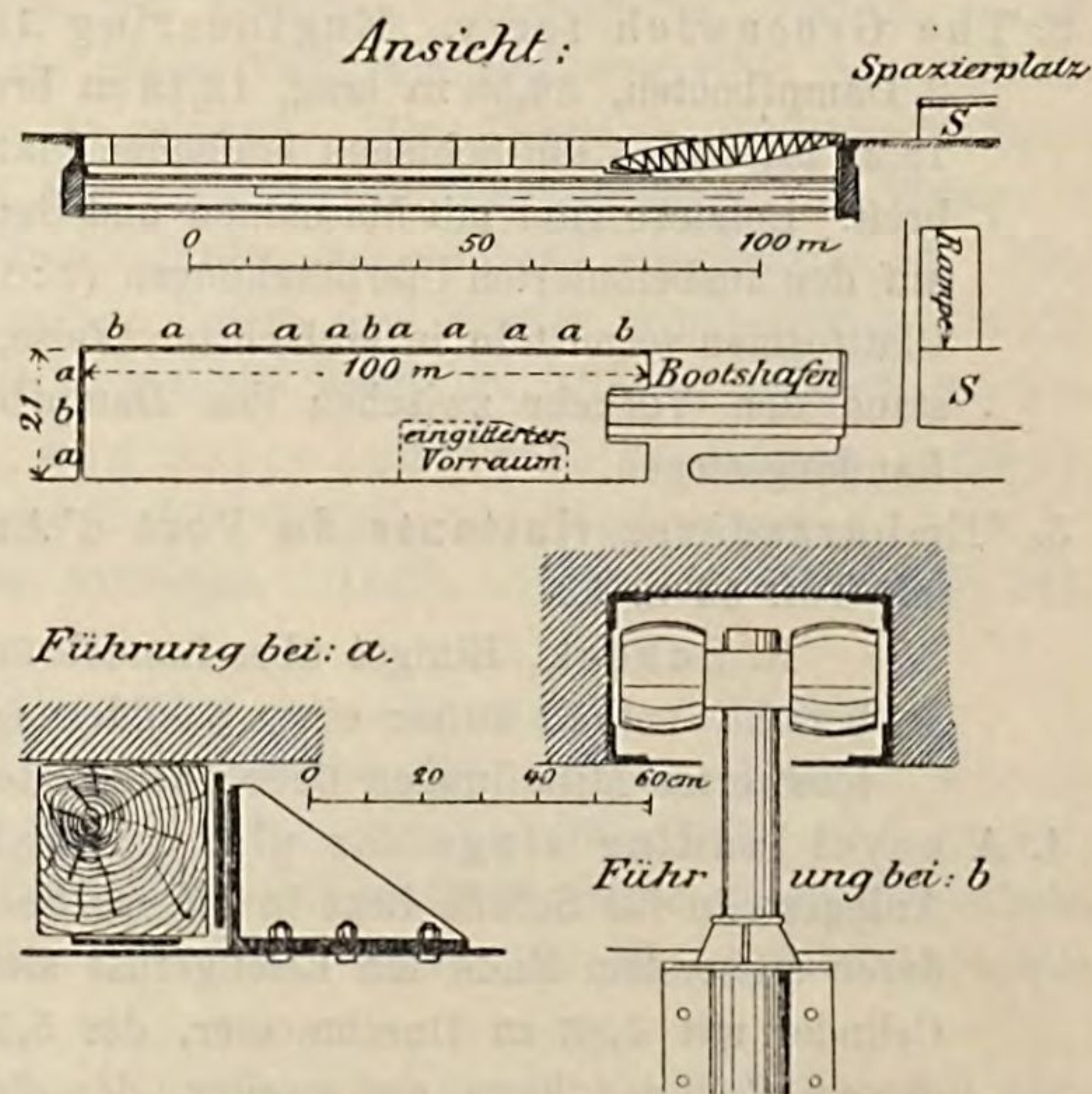
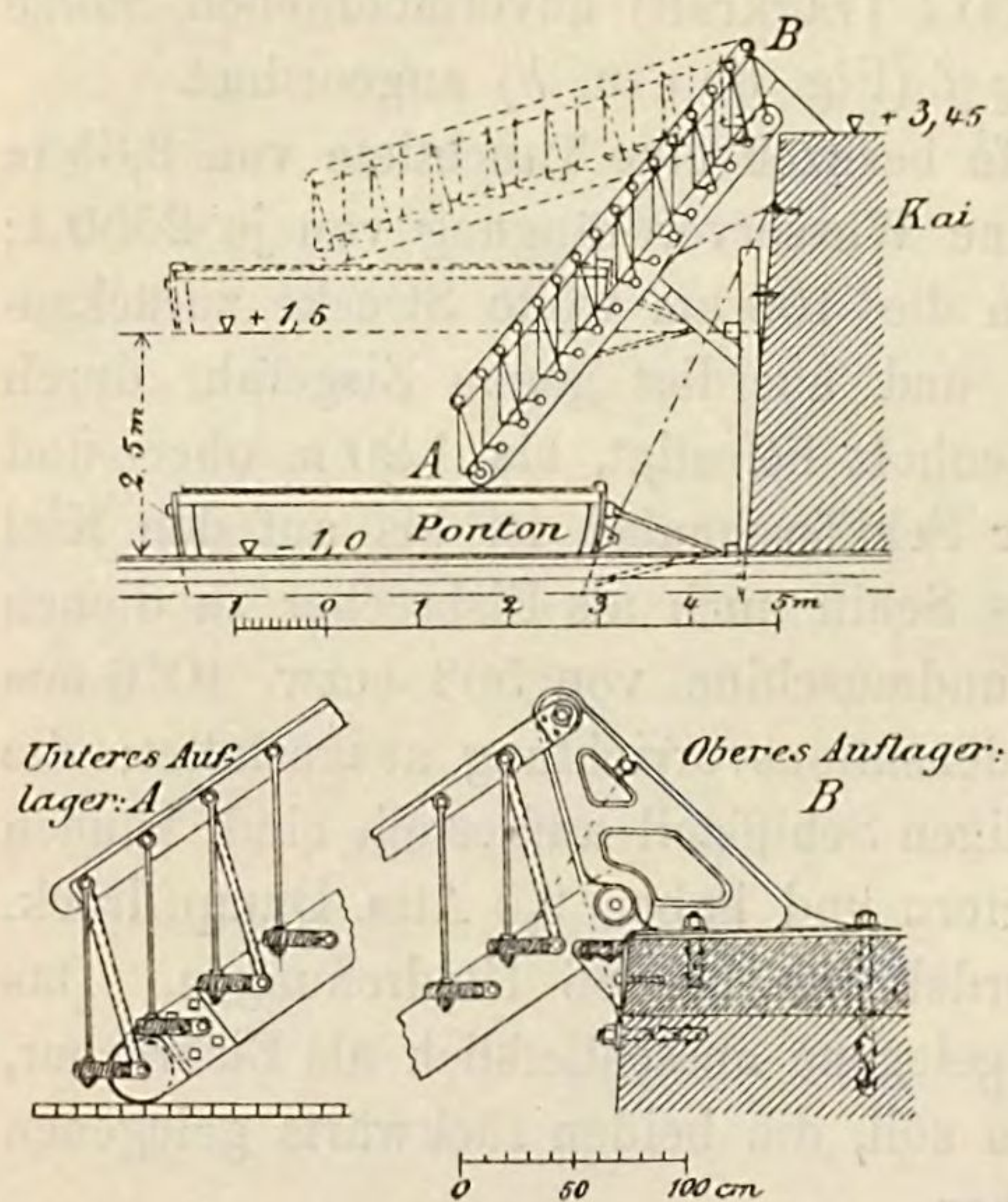


Fig. 87. Landebrücke vom Ausrüstungshafen in Kiel.



kleinen (Fufsgänger-)Ponton ändern sich diese Maße auf 30 m bzw. 3,5 m und 15%. Die oberen Brückenden sind mittels wagrechter Drehzapfen mit der Kaimauer verbunden; das untere Brückende läuft auf an den Enden mit Nasen versehenen Gußplatten mittels Rollen. Kosten und Gewichtsangaben fehlen.

g. Die schwimmende Treppe am Ausrüstungshafen zu Kiel [Litt. 14]

zeigt eine sehr zweckmäfsig und vielfach gebräuchliche Anordnung, wenn es sich nur um Fufsgänger- oder Traglastenverkehr handelt. Die Treppe ist rund 5,2 m lang und schließt bei höchstem bzw. niedrigstem Wasserstand einen Winkel von 17° bzw. 51° mit der Wagrechten ein, wobei für jede Stellung der Brücke die Auftrittsstufen wagrecht bleiben. Das Ponton muß gegen Abschwimmen entsprechend gesichert sein.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Schiffbrücken (schwimmende Brücken), Fähren und Landebrücken betreffend.

1. *Schwimmende Fufsgängerbrücke über die Einfahrt zum Mosel-Sicherheitshafen bei Koblenz. Kirch, Zeitschr. f. Bauw. 1888, S. 497, mit Abb. und Taf. 60. Eingehende Beschreibung, enthält auch die Tragkraftsbestimmung.
2. The Greenwich ferry. Engineering 1888 I, S. 172, mit Abb. Die Fähranlage besteht aus 2 Dampfbooten, 36,58 m lang, 12,19 m breit und 1,83 m Tiefgang, 2 Landungsstegen, 21,34 mal 18,29 m, und 4 auf Schienen laufenden Plattformen (je 2 hintereinander) 18,29 m lang und 7,01 m breit. Letztere sind mit Maschinen und Getrieben versehen, mittels deren sie den Schienen entlang auf den ausbetonierten Uferböschungen (1:10) auf und ab bewegt werden können. Die beweglichen Plattformen vermitteln in einfachster Weise, auf diesen geneigten Ebenen laufend, für jeden Wasserstand den Verkehr zwischen den Dampfbooten und den oben am Uferrand befindlichen festen Landungsstegen.
3. *Embarcadères flottants du Port d'Anvers. Nouv. annales de la constr. 1889, S. 177, mit Taf. 52 u. 53.
R. Scheck, Einiges über Landebrücken. Deutsche Bauz. 1894, S. 148, mit Abb. Reisebericht, enthält außer einer Schilderung der Landestelle in Antwerpen noch eine Reihe beachtenswerter Mitteilungen über Landebrücken.
4. A novel landing stage for piers. Engineer 1889 II, S. 446, mit Abb. Diese schwimmende Anlegestelle für Schiffe liegt in offener See bei Folkestone und besteht aus einer Landebrücke, an deren äußerstem Ende ein Eisengerüst sich befindet, in dessen Mitte von letzterem ein lotrechter Cylinder mit 1,83 m Durchmesser, der 5,5 m in den Meeresboden eindringt, gehalten wird; in diesem Cylinder kann ein zweiter, der oben die Plattform für die Fahrgäste trägt, sich lotrecht auf und ab bewegen. Der untere Führungscylinder ist aus 2 Halbcylindern derart zusammengesetzt, daß die Verbindungsfuge gleichzeitig eine Führung (gegen Drehen) des Hebeylinders bildet. Der obere Tragcylinder kann mittels besonderer Wasserbehälter beliebig belastet werden. Die Bewegung der Plattform erfolgt auch bei stürmischem Wetter sanft und ruhig.

5. Debarcadère flottant de seacombe sur la Mersey. Génie civil 1890/91, Bd. 18, S. 383, mit Abb. und Taf. 35. Diese Hub- und Landebrücke verbindet den schwimmenden Landeplatz, der 69,15 m vom Kai entfernt ist, durch 3 Brücken mit demselben; die in Betracht zu ziehende Fluthöhe kann 9,91 m betragen. Die mittlere zweigeleisige Brücke dient ausschließlich der Verladung von Güterwagen. Die aus 21 Pontons (aus 6 mm Blech) zusammengesetzte Landebrücke hat eine Gesamtlänge von 95,20 m; hierbei beträgt die Pontonbreite auf 32,4 m Länge nur 16,6 m, auf 62,8 m Länge (für die Güterwagen) 25 m. Sehr starke, kreuzweise gelegte Ketten (50 mm) sichern dem Landeplatze seine Stellung. Drei Wasserdruck-Pressen, die auf ihrem Haupte große Plattformen zur Aufnahme der Lasten tragen, vermitteln die Verbindung des Landeplatzes mit den 3 Brücken. Die Druckkolben haben 350 mm Durchmesser und 9,985 m Hubhöhe und tragen bewegliche Plattformen von $8,54 \times 2,57$ m. Die Fundamente der Aufzugspressen reichen bis 13,22 m unter das Flussbett hinab. Die ganze Anlage ist sehr eingehend beschrieben, jedoch sind nähere Kostenangaben nicht gemacht.
6. Projekt einer Eisenbahnfähre über den Kanal zwischen England und Frankreich. Lebrecht, Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 105, mit Abb. Eine Fähre, die Raum für 2 Bahnzüge und außerdem für Gepäck und Fußgänger bietet, wird auf einer wegen der ungestörten Schifffahrt 14 m unter dem Meeresspiegel liegenden Leitbrücke mittels Ketten, ganz nach Art der Kettenschifffahrt, geführt. Die Geschwindigkeit soll 7 m in der Sekunde betragen und die Kosten sind auf 40 Millionen Gulden ö. W. veranschlagt.
7. Der Bau der zweiten Hafeneinfahrt in Wilhelmshaven. E. Rechtern und H. Arnold, Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891, S. 363 u. 475, mit Taf. 18 u. 19. Der zeitweilige Abschluss des neuen Hafens gegen den Ausrüstungshafen erfolgt durch ein eisernes, ganz als Schiffskörper ausgebildetes Schwimmponton von 26,85 m Länge und 4 m Breite (beides in Oberdeck gemessen), das auch als Brücke für Eisenbahnwagen- und Straßenfuhrwerk-Verkehr dient. Dessen ganze Einrichtungs- und Betriebsweise wird an den oben angeführten Stellen der ausführlichen Abhandlung eingehend beschrieben und auf den beiden Tafeln dargestellt.
8. *Floating bridge at Portsmouth. Engineering 1892 II, S. 463, mit Abb. Enthält außer vorliegendem Gegenstand eine kurze historische Entwicklung solcher Fähren.
The new floating bridge between Portsmouth and Gosport. Engineer 1892 II, S. 268, mit Abb. Besonders große und deutliche Zeichnungen.
9. L'appontement de Kotonou. F. Delamoy, Génie civil 1892, Bd. 21, S. 1, mit Abb. u. Taf. 1. Enthält eine sehr eingehende Beschreibung dieses Bauwerks, einschl. aller Aufstellungsarbeiten.
G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894. S. 290, mit Fig. 216.
10. Transfer bridge for Norfolk and Carolina railroad. Engineering News 1892 I, S. 96, mit Taf. Eingehende Beschreibung einer zweigeleisigen Eisenbahn-Landebrücke. Die im wesentlichen aus 3 Blechträgern bestehende Brücke ist an einem Ende um eine wagrechte Axe drehbar, am anderen Ende auf einem hölzernen Ponton aufgelagert. Der Ausgleich der verschiedenen Wasserstände bis zum Betrag von 2,13 m erfolgt durch Einpumpen oder Auslassen von Wasser in das Ponton, das mit Ejektoren und Aus- und Einlaßventilen entsprechend ausgestattet ist. Eine nahe befindliche Dampfmaschine der Eisenbahnanlage liefert den hierfür erforderlichen Dampf. In 1 Minute kann das freie Schiffsende um 0,152 m gesenkt bzw. um 0,051 m gehoben werden.
11. *Transfer bridge and slipe for the Toledo, Ann Arbor and North Michigan railway. Engineering News 1893 I, S. 556, mit Abb. und Tafel. Eingehende Beschreibung.
Transport des trains par bateaux sur le lac Michigan. Génie civil 1893, Bd. 23, S. 183, mit Abb. und Taf. 12.
The car transfer steamer, Ann Arbor. Railroad Gaz. 1892, S. 613, mit Abb.
12. Kosten von Schiffbrücken. Doell, Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 83. Enthält sehr in das Einzelne gehende Mitteilungen über die Kosten von Schiffbrücken am Oberrhein. Endergebnis: Eine 5,40 m breite Pontonbrücke von 241,7 m Länge, einschliesslich 35 Pontons aus Eichenholz, 5 Eisbrechern, eisernen Querträgern, kiefernen Straßenbalken, Belag und allem Zubehör kostet auf das laufende Meter Länge 700 M.
13. *Ferry bridge connecting Portugaleta and Las Arenas. Engineer 1893 II, S. 224, mit Abb.
G. de Saint-Arrail, Pont transbordeur pour grands débouchés. Génie civil 1893, Bd. 23, S. 229, mit Abb.
Seligmann, Ein neues Überbrückungssystem. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1894, S. 390, mit Abb.

- Die Fährbrücke bei Bilbao. Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 76, mit Abb.
 G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894, S. 257, mit Abb.
 Pont à transbordeur. Mém. de la société des ingénieurs civils 1894 I, S. 532, m. Abb.
14. *Einiges über Landebrücken. R. Scheck, Deutsche Bauz. 1894, S. 148, mit Abb. Reisebericht über Landebrücken der verschiedensten Art.
 15. Une tramway funiculaire aérien. Génie civil 1893/94, Bd. 24, S. 375, mit Abb. In sehr kühner Weise wird ein Trambahnwagen, innen 4,25 m lang (daran 2 Plattformen von 0,90 m), 1,80 m breit und 1,98 m hoch, der Platz für 16 Personen bietet, an 2 Drahtseilen von 35 mm Stärke hängend, mittels eines 12,7 mm dicken Zugseiles über den Tennessee-Fluss geführt. Die beiden Aufhängepunkte der Tragseile, 325 m voneinander entfernt, sind verschieden hoch; das höher gelegene Seilende steigt bis 106,8 m über den Wasserspiegel. Die Auffahrt erfolgt in $3\frac{1}{2}$, die Niederfahrt (durch das Eigengewicht allein) in $\frac{1}{2}$ Minute. Zum Antrieb des Zugseiles dienen zwei in einer Endstation aufgestellte 20 pferdige Dampfmaschinen.
 Schwebende Seilfähre über den Tennessee-Fluss bei Knoxville. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1894, S. 74, ohne Abb.
 16. Loewe, Festschrift zur Eröffnung des Nord-Ostsee-Kanals. 1895, S. 30. Kurze Mitteilung, daß 16 Drahtseilfähren mit Handbetrieb außer den Brücken dem Verkehr über den Kanal zu dienen haben, ohne weitere Beschreibung.
 17. Car transfer bridge at West Norfolk Atlantic and Danville railway. Engineering News 1895 II, S. 178, mit Abb. Ausführliche Beschreibung einer Landebrücke für eine zweigeleisige Eisenbahn, die mit dem Ufer durch eine 137 m lange, hölzerne Gerüstbrücke verbunden ist. Die Anordnung, etwas abweichend von der in Amerika üblichen Durchbildung derartiger Brücken, bezweckt, die Verwindungen, die in den Landebrücken bei Belastung nur eines Geleises auftreten, herabzumindern; zu diesem Zwecke ist jedes der freien Enden der am anderen Ende um eine wagrechte Axe drehbaren Landebrücke unabhängig vom anderen mit Gegengewichten ausgestattet. Die Durchbildung der eisernen Landebrücke (Blechträger) ist sehr eingehend dargestellt und besprochen. Die drei in 4,06 m Entfernung angeordneten Hauptträger (Blechträger) sind 15,54 m lang und 1,98 m in der Mitte hoch. Die wagrechte Querverspannung wurde, um die Wirkungen von Verdrehungen möglichst abzuschwächen, in die Schwerlinie der Hauptträger gelegt. Als Eigengewicht liegt für die Hauptträger 0,89 t/m und als Verkehrslast 2,24 t/m der Berechnung zu Grunde. Die Bewegungsvorrichtungen sind näher beschrieben.
 18. Zur Kritik der Schwebebahnen. C. O. Gleim, Deutsche Bauz. 1895, S. 266, mit Abb., Fig. 25 u. 26. Mitteilung über eine am St. Pauli-Landungsplatz in Hamburg geplante, sehr bedeutende Schwebefähre, deren Errichtung aus näher erörterten Gründen vom Verfasser bekämpft wird.
 19. Cableway for passenger traffic at Brighton (England). Engineering News 1895 I, S. 67, mit Abb. Diese Seilfähre dient ausschließlich dem Personenverkehr und führt über eine tiefe Schlucht in 70,10 m Höhe über deren tiefsten Punkt. Die Entfernung der Tragtürme beträgt 198,12 m, die Hängeseile sind 365,8 m lang und an den Enden entsprechend verankert. Die Fahrwagen sind $2,13 \times 1,52$ m groß und fassen 8 sitzende Personen, die in $2\frac{1}{2}$ Minuten über die Schlucht befördert werden. Das Triebseil wird durch einen $4\frac{1}{2}$ pferdigen Petroleummotor bewegt. Von Oktober bis Mitte Dezember wurden 4000 Personen übergesetzt.
 20. *Pontonbrücke über den Düna-Strom bei Riga. A. Agthe, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1895, S. 39, mit Abb. Sehr eingehende Beschreibung mit deutlichen Abbildungen; Überblick über die geschichtliche Entwicklung dieser Brücke.
 21. Ponts flottants articulés. Ch. Talansier, Génie civil 1895/96, Bd. 28, S. 404, mit Abb. Je 3 Pontons sind derart miteinander verbunden, daß jedes einzelne sich unabhängig von den anderen um eine lotrechte Axe drehen kann, wodurch sich jedes Ponton selbstthätig in die Strömung stellen wird und besonders schiefe Überbrückungen leichter ausführbar werden. Anwendung hauptsächlich für Kriegszwecke.
 22. Ph. Schrimpf, Die Wattfähre, Elberfeld 1896, 48 Seiten, mit 5 Tafeln. Diese Schrift enthält den ausgearbeiteten Entwurf einer Wattfähre zur Herstellung einer regelmäßigen Überlandverbindung nach Norderney, sowie einer von Ebbe und Flut unabhängigen Verbindung zwischen Karolinensiel, Spiekeroog-Langeroog. Die Tafeln geben ein anschauliches Bild der beabsichtigten Ausbildung derselben, mit Angabe der Hauptabmessungen. Der mittlere Flutwechsel beträgt 2,4 m, die größte Wellenhöhe überschreitet nicht 1,5 bis 2 m. Die große Fähre (Norderney) soll eine Plattform von 300 qm zur Aufnahme von 200 Personen erhalten und mit einer 200 pferdigen Maschine

ausgerüstet werden; deren Leergewicht wird zu 100 t angegeben, wovon 22 t auf die Räderpaare und Achslager, 17,5 t auf das Eisenfachwerk, 20 t auf die Plattform mit Aufbau und Ausrüstung, 20 t auf die Maschinenanlage einschließlich Kohlen und Wasservorrat treffen. Die Gesamtfelgenbreite jedes der 8 Räder beträgt 1,6 m; jedoch ist dieselbe, um den Wasserwiderstand während der Bewegung zu vermindern, in 9 cylindrische Streifen zerlegt. Das Führungsseil aus Stahldraht wiegt bei 35 mm Stärke 4,5 kg/m. Die Kosten der Zugseile belaufen sich auf 40 000 M. (1 km = 5000 M.), die der beiden mit Maschinen u. s. w. vollständig ausgerüsteten Fähren auf 160 000 M., die der Gesamtanlage auf 1 Million Mark. — Auf denselben Grundzügen beruhend ist der Entwurf für die obengenannte kleinere Fähre durchgebildet, nur mit wesentlich verminderten Abmessungen.

Werke und Schriften allgemeinen Inhaltes,

die auch bewegliche Brücken behandeln.

1. Th. Cooper, General specifications for iron and steel railroad bridges and viaducts, New York 1890, 24 Seiten. Derselbe, General specifications for iron and steel highway bridge viaducts, New York 1890, 22 Seiten. Diese Schriftchen entsprechen inhaltlich beiläufig unseren Normalbedingungen für Eisen- und Hochbaukonstruktionen, weshalb diese Bedingungen der Ausbildung und Querschnittsbemessung der Tragwerke der beweglichen Brücken in den Vereinigten Staaten Amerikas vielfach zu Grunde liegen. Unter anderem findet man auch Angaben über die zulässigen Beanspruchungen bei Anwendung von *medium* und *soft steel* (mittelhartem und weichem Stahl) als Baumaterial, sowie Vorschläge, für welche Brückenteile die eine oder andere dieser Stahlgattungen Verwendung finden soll.
2. J. B. Johnson, C. W. Bryan, F. E. Turneure, The theory and practice of modern framed structures, New York 1893, 517 Seiten, mit vielen Tafeln und Abbildungen. Behandelt auf S. 179 bis 196, mit Abb., die Berechnung und auf S. 357 bis 381 mit Abbildungen und Tafeln die Konstruktion der Drehbrücken in ziemlich encyklopädischer Weise.
3. W. H. Warren, Engineering construction in iron steel and timber, London und New York 1894, 373 Seiten, mit Abbildungen und Tafeln. Auf S. 323 bis 332 und Taf. 4 a bis c werden in sehr kurzer Weise die Drehbrücken erledigt.
4. G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894, 377 Seiten, mit vielen Abbildungen. Auf S. 235 bis 259 und 279 bis 290, mit Abb., finden sich kurze Angaben über bewegliche Brücken der verschiedensten Systeme und über zerlegbare Brücken, sowie kleine, meist schaubildliche Ansichten derselben.
5. W. Ritter, Der Brückenbau in den Vereinigten Staaten Amerikas (Weltausstellungsbericht), Bern 1894, 66 Seiten, mit 11 Tafeln. Auf S. 64 bis 66 kurze Besprechung der beweglichen Brücken. Das Heftchen enthält eine Reihe von Mitteilungen über Fabrikationsweise, Durchbildung der Knotenpunkte, der Fahrbahntafel u. s. w., die unmittelbar auch für die amerikanischen beweglichen Brücken gelten, und sind in dieser Hinsicht die beigegebenen Tafeln sehr beachtenswert.

VI. Zerlegbare Brücken und Brücken für Kriegszwecke.

Während alle bisher besprochenen Brückengattungen möglichst ununterbrochen und ohne ihren Standort zu verändern, dem Verkehr zu dienen haben, wobei derselbe allerdings unvermeidliche, dafür aber nur auf kurze Zeiträume beschränkte Störungen erleidet, sollen die zerlegbaren Brücken beliebig ihre Baustelle wechseln können, leicht aufzustellen und wieder abzuschlagen und, einmal eingebaut, für stetige Benutzung geeignet sein. Der letztere Fall kann eintreten in Kriegszeiten bei den eigentlichen „Kriegsbrücken“ oder zu friedlichen Zwecken bei der Durchforschung und Erschließung neuer Länder, die wenige oder noch gar keine Verkehrswege besitzen. Über die Kriegs-

brücken im weiteren Sinne des Wortes ist aus naheliegenden Gründen sehr wenig in der Fachliteratur zu finden, mit Ausnahme einiger Mitteilungen französischer Herkunft; jedoch auch Mitteilungen über zerlegbare Brücken im allgemeinen finden sich nur spärlich, obwohl es keinem Zweifel unterliegt, daß bei sachgemäßer Durchbildung sich Brückensysteme dieser Art ausbilden lassen, die in Zukunft eine Rolle als Ausführartikel für Kolonien sich erringen können.

Bei allen derartigen Entwürfen dürften folgende Punkte beachtenswert sein: 1. Bildung steifer, geschlossener Stabelemente, mit Vermeidung abstehender, schwacher und daher leicht abbiegbarer Anschlußteile, 2. kleinstmögliche Anzahl verschiedener Brückenelemente, 3. centrischer gegenseitiger Anschluß aller Stäbe, sowohl der Haupt- als auch der Verspannungsträger, 4. Rücksichtnahme auf einfache und zwanglose Aufstellung, 5. bei Anwendung von Gelenkverbindung Vermeidung zu hohen Laibungsdruckes, 6. Verwendung besten Materiales, um (mit Rücksicht auf Gewicht und Verschickung) mit der zulässigen Beanspruchung so hoch als möglich gehen zu können.

a. M. Eiffel's zerlegbare Brücken [Litt. 1 u. 5].

Die ersten zerlegbaren Eisenbrücken baute Eiffel 1873 für Bolivien; die Ausbildung dieses Brückensystemes erfuhr infolge der Besitzergreifung von Tonkin und Cochinchina durch Frankreich eine wesentliche Förderung, da seit dem Jahre 1879 für die Verkehrswege daselbst in ausgedehntem Maße die zerlegbaren Brücken Anwendung fanden; von nun an wurde ausschließlich Stahl bzw. Flußeisen als Baumaterial verwendet. Der Leitgedanke dieses Systemes liegt in der Bildung eines zwei- oder vierteiligen Parallelfachwerkes (ein- oder doppelwandig, je nach der Brückenlänge), das durch Aneinanderreihung lauter ganz gleich gearbeiteter Dreieckselemente (aus winkelförmigen Stäben) und Verbindung derselben durch Bolzen entsteht. Die letzteren haben eine neuartige Anordnung erhalten: sie sind zur Erleichterung des Brückenaufbaues gegen das Gewinde zu, das wesentlich kleineren Durchmesser besitzt als der Bolzenschaft, konisch abgedreht, und die Muttern sind, um die Unterlagsscheiben in Wegfall zu bringen und doch ein gleichmäßiges Anliegen an den Eisenteilen zu erzielen, innen so ausgebohrt, daß die genaue Führung durch den Bolzenschaft erfolgt. Vollwandige Querträger und Längsträger (bei kleineren Brücken I-Eisen, bei größeren Blechträger) nebst wagrechten Windverspannungen vervollständigen die ganze Brückenanordnung. Wesentlich ist hierbei, daß alle einzelnen Brückenelemente genau gleich gearbeitet sind, um sie beliebig verwechseln zu können. Die ausgeführten Typen gestatten die Ausführung von Straßenbrücken von 4 bis 24 m und von Bahnbrücken von 1 m und der gewöhnlichen Spurweite bis 45 m Stützweite. Bei den letztgenannten sind die Dreieckselemente 6 m lang und 3 m hoch. Nachstehende kleine Tabelle giebt die Gewichte und Hauptabmessungen vollspuriger Bahnbrücken:

No.	Spannweite m	Trägerhöhe m	Anzahl der Tragwände eines Hauptträgers	Fahrbahnlage	Brückengewicht t	Gewicht auf 1 m Länge t
1	15	3,08	1	unten	13,78	0,92
2	30	3,08	2	unten	37,53	1,15
3	30	3,08	2	oben	38,69	1,29
4	45	5,90	2	unten	78,61	1,75
5	45	5,90	2	oben	75,59	1,68

Der Überbau einer Notbrücke von 27 m Lichtweite (3,08 m hoch) für die Orleansbahn wurde in 20 Stunden aufgestellt. Bei der Belastungsprobe durch 3 mit 6 und 12 km Geschwindigkeit fahrende Maschinen mit 125,5 t Dienstgewicht ergab sich eine vorübergehende Einsenkung von 18 mm. Die Brücke war 50 Tage im Betrieb. Bei den indischen Brücken wurde eine Beanspruchung von 1000 kg/qcm zugelassen, bei 250 kg/qm gleichmäßiger nutzbarer Belastung und 4 t Achsdruck bei einer, und 3 t Achsdruck bei 2 Achsen. Für die übrigen Brücken gelten die französischen Vorschriften.

b. Zerlegbare Brücken nach dem System Henry (franz. Génieoffizier) und Fives-Lilles [Litt. 6].

Das Grundelement dieser Brückengattung bilden die an beiden Enden anschlussfähig ausgebildeten stählernen Gurtungs- bzw. Ausfüllungsstäbe; ihre Verbindung erfolgt durch Bolzen. Alle Druckglieder besitzen kastenförmigen Querschnitt und sind doppelwandig; die fachwerkartig ausgebildeten doppelwandigen Querträger sind centrisc mit einem Bolzen von 45 mm in die Hauptträgerpfosten der Parallelfachwerkträger mit zweifacher Ausfüllung eingehängt; in den Gurtungen sind centrisc die Längsträger mittels eines Bolzens eingehängt, außerdem auch noch auf Winkleisen an den Querträgerwänden aufgelagert. Die Trägerhöhe für eine 45 m Brücke beträgt nur 3,6 m. Dieses System fand beim französischen Militär schon mehrfach ausgedehnte Verwendung; so wurden 18 Öffnungen von je 20 m Spannweite durch Infanterie- und Géniesoldaten innerhalb 52 Stunden auf Holzböcken ruhend über den Var-Fluss (1889) aufgestellt.

c. Die zerlegbaren Brücken nach dem System Marcille (franz. Génieoffizier) [Litt. 6 und 8]

werden ausschließlich durch Aneinanderreihung und Verbindung von Elementen, aus vollwandigen Blechträgern bestehend, gebildet und sind bis zu 45 m Stützweite vorbereitet. Fertiggestellt besitzen diese Brücken eine ungewöhnlich geringe Trägerhöhe (wegen des Eisenbahnversandes) und zwar bei 10 u. 20, 30 und 45 m Stützweite $1/16,7$; $1/20$ und $1/20,5$ der Trägerlänge. Die Trägerelemente können so gruppiert werden, daß sie um 1,25 m fortschreitende Spannweiten ergeben. Ihre Aufstellung geschieht durch Verschieben unter Anwendung eines besonderen Schnabels (*avant-bec*) und eines entsprechenden Gegengewichtes. Die Bauzeit für Brücken mit oberliegender Fahrbahn ist bei 30 m Spannweite auf 46 Std. und bei 45 m auf 80 Std. angegeben; doch wurde bei Argenteuil eine Brücke von 70 m Gesamtlänge (aus 20 und 27 m Öffnungen bestehend) von 52 Mann Eisenbahntrouppen in 60 Std. eingebaut und in betriebsfähigen Stand versetzt.

Bei diesen 3 Systemen geschieht der Einbau fast ausschließlich durch Überschieben von einer oder beiden Seiten aus.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Zerlegbare Brücken und Brücken für Kriegszwecke betreffend.

1. *Transportable Brücken. Birk, Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1887, S. 201, mit Abb. Beschreibung der indochinesischen Eiffelbrücken und des von dem italienischen Ingenieur Cottrau aufgestellten Systemes zerlegbarer Brücken mit Gewichts- und sonstigen näheren Angaben.

Das Hauptelement des letzteren Brückensystemes besteht aus einem geschlossenen viereckigen Winkelrahmen aus Stahl, 97 kg schwer, in welchem die Ecken wechselseitig durch Schrägen verbunden sind; alle übrigen Elemente bestehen aus Deckflacheisen: 5 m lang, 210 mm breit und Bolzen. Die Wirkungsweise der inneren Stabspannungskräfte in diesem System ist ziemlich unklar und entzieht sich dasselbe jeder zutreffenden Berechnung, wenn, wie z. B. die in Fig. 20, S. 204 dargestellten Pfeilerbauten mit Windkraftwirkungen in Betracht kommen.

G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894, S. 283, mit Abb. Ponts Cottrau.

2. Ponts portatifs et démontables. Ch. Talansier, Génie civil 1888, Bd. 13, S. 192, mit Abb. Verschiedene Typen zerlegbarer Brücken der Gesellschaft Commentry et Fourchambault, für Militärbrücken, Strafsenbrücken und Bahnbrücken bei 1 m und gewöhnlicher Spurweite. Die Hauptträger sind aus einfachem Dreiecksystem, 4 m (bzw. 5 m) langen Fachen und ebenso langen Ausfüllungsstäben. Bolzenverbindungen.

Die Militärbrücken sind bis 32 m Spannweite bei 3 m Breite ausgebildet; die schwersten Stücke wiegen 66 kg und 115 kg; letztere liegen nur in der Ebene der unteren Gurtung. Das Eigengewicht beträgt 0,23 bis 0,27 t/m Brücke.

Die Bahnbrücken für Schmalspur (1 m) können für wachsende Spannweiten bis 36 m zusammengesetzt werden; ihr Eisengewicht beträgt 0,79 bis 1,29 t/m und ihre Tragfähigkeit ist für 8 t-Achsen berechnet. Die Bahnbrücken bei gewöhnlicher Spurweite sind für um je 2,5 m wachsende Spannweiten bis zu 45 m anwendbar. Ihre Tragfähigkeit ist für 4 in 1,35 m Entfernung gekuppelte Achsen von 12,2 t Achsdruck berechnet und ihr Eisengewicht beträgt zwischen 1,06 und 1,67 t/m Brücke.

3. Brochocki's portable bridges. Engineering 1889 I, S. 323, mit Abb. Parallelfachwerkträger aus gleichseitigen Dreiecken (4 m) gebildet. Eine 32 m lange Brücke ist näher beschrieben und deren Einzelheiten gegeben. Ein schwacher Punkt dieser Brücke liegt in der Anordnung der Querverspannungen; es fehlt ein Endrahmen, der die Kräfte aus der oberen entsprechend in die untere Windverspannung leitet, da diesen Zweck die oberen Ecksteifen allein kaum genügend zu erfüllen in der Lage sind.

G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894, S. 287, mit Abb. Giebt ein Schaubild einer solchen Brücke mit Fahrbahn unten. Eine Strafsenbrücke von 4 m Lichtweite, 3,60 m hoch und 36 m lang wiegt 0,72 t/m Brücke; eine Eisenbahnbrücke für gewöhnliche Spurweite bei 45 m Spannweite 1,67 t/m (ohne Belag).

4. Portable bridges, System Seyrig. Engineering 1889 II, S. 139, mit Abb. Gewichtstabellen für Brücken dieses Systemes von 10 bis 30 m; Skizzen für die Aufstellung.

Zerlegbare Brücken, System Seyrig. Birk, Eisenbahntechnische Mitteilungen, Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 38, mit Taf. 2. Dieses System ist in erster Linie für Strafsenbrücken, sowie für schmalspurige Eisenbahnen entworfen; die Hauptträger sind als Parallelfachwerk mit steif ausgebildeten Zugdiagonalen durchgebildet; die Fahrbahntafel liegt unten; die Absteifung des Obergurtes erfolgt durch eine von überragenden Querträgern auslaufende Strebe. Gelenkbolzenverbindung. Hauptträgerentfernung 3 m. Fachweite 2,5 m.

No.	Stützweite m	Zahl der ver- schiede- nen Ele- mente	Zahl aller Teile	Gewicht des schwersten Elementes		Gewicht in t der Eisenkonstruktion im ganzen		Zulässige Belastung auf das	
				kg	m	t	t/m	qm kg	m t
1	10,0	16	159	119	4,36	4,27	0,42	1090	3,27
3	15,0	16	207	119	4,36	6,11	0,40	670	2,01
5	20,0	16	255	119	4,36	7,96	0,39	460	1,38
7	25,0	16	303	119	4,36	9,74	0,38	333	1,00
9	30,0	16	351	119	4,36	11,58	0,38	250	0,75

Die zulässige Beanspruchung ist durchaus 1000 kg/qcm. Die Brücken No. 2, 4 mit 12,5 m, 17,5 m . . ., die ebenfalls gebildet werden können, wurden in der Tabelle weggelassen. Die Einzelheiten sind aus der gegebenen Tafel gut ersichtlich.

5. *Eiffel's zerlegbare, stählerne Brücken. Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 470, mit Abb. Enthält Angaben über die neuere Konstruktionsweise dieser Brücken, die für Strafsenbrücken und Bahnbrücken von 0,4 bis 1,5 m Spurweite bis zu 45 m Spannweite Verwendung finden können.

G. Lavergne, Ponts démontables pour le rétablissement des voies ferrées à largeur normale. Génie civil 1890, Bd. 17, S. 321, mit Abb. Enthält die schaubildliche Abbildung einer 45 m langen Eisenbahnbrücke, die nach Eiffel's System gebaut und probeweise in Châlons sur Marne aufgestellt wurde; ferner Gewichtsangaben, sowie die Ergebnisse der Probelastungen einer 45 m und einer 30 m langen Brücke. Das schwerste Stück wiegt 417 kg.

Eiffel's zerlegbare Brücken für Eisenbahnen. Organ f. d. Fortschr. des Eisenbahnwesens 1891, S. 78, ohne Abb. Enthält dasselbe wie die vorher genannte Quelle.

6. *Neuere Arten zerlegbarer eiserner Brücken. Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 297, mit Abb. Die Systeme Henry und Fives-Lilles, sowie das System Marcille werden an der Hand deutlicher Skizzen näher besprochen. Gewichtsangaben.

G. Lebris, Les constructions métalliques 1894, S. 284 u. 289, mit Abb. Systeme Henry und Marcille.

7. R. Henry, Lieutenant-colonel du génie, Ponts et viaducs mobilisables, Paris 1891. Neue Ausgabe, 97 Seiten, mit 5 Textfiguren und 10 Tafeln. Eingehendste Abhandlung über das Brückensystem dieses Namens. Am Schluß Litteraturnachweis, die Zeit von 1882 bis 1891 umfassend.
8. Eine tragbare und zerlegbare Brücke von veränderlicher Spannweite. C. Koch, Deutsche Bauz. 1892, S. 145, mit Abb. Beschreibung einer Wegbrücke von 34 m Spannweite und 2 m lichter Breite, deren schwerster Teil 60 kg nicht überschreiten durfte, bei einer Tragfähigkeit von 150 kg/qm. Die Brückenbahn besteht aus Dielen, der Überbau aus Stahl. Die ganze Brücke ist aus 5 Elementen, einschliesslich der Querträger, zusammengebaut, deren Verbindung durch Schrauben und Eiffel'sche Bolzen erfolgt. Die Hauptträger, 2 m hoch, besitzen 2,06 m Fachteilung, lotrechte Pfosten und zweifache (steife) Schrägstäbe. Die Aufstellung geschieht durch Überschieben, wozu ein Schnabel von 17,5 m Länge und ein Gegengewicht von 3,4 t (von 22 m freischwebender Brücke an) erforderlich ist. Der Schnabel wird aus den Normalelementen gebildet; als Gegengewicht dient der Holzbelag (4,3 t). Die Brücke wiegt 5,10 t, der Schnabel 2,60 t und die 14 Rollenlager 0,98 t, zusammen 8,68 t.
9. Les ponts militaires. Ann. industr. 1893 II, S. 257, ohne Abb. Ergebnisse eines für französische Génieoffiziere ausgeschriebenen Wettbewerbes; es handelte sich hierbei nur um kleine Stützweiten.
10. Zusammenlegbare und transportable Brücken. Grieger, Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1894, S. 34, ohne Abb. Neues System, in der Hauptsache aus 2 Galle'schen Gelenkketten bestehend; in der kurzen Fassung unklar.
11. H. v. Ripper, Europäische Kriegsbrückensysteme, Wien 1895. Behandelt auf 104 Seiten, 3 Tafeln und vielen Tabellen die beweglichen Brückentrains mit schwimmender Unterlage (Pontonbrücken) aller gröfseren Armeen.
12. Katalog der Fabrik Arthur Koppel, Berlin: Industriebahnen. In demselben ist auch eine 30,16 m lange, 3 m breite, in Java aufgestellte, zerlegbare eiserne Fahrwegbrücke dargestellt. Deren Tragfähigkeit ist mit 300 kg/qm angegeben; soviel aus dem Schaubild ersichtlich, sind Gelenkverbindungen angeordnet.

VII. Vergleichende Übersicht der neueren beweglichen Brücken.

Die gesteigerten und mannigfacher sich gestaltenden Verkehrsanforderungen gaben aufser zur weiteren Ausbildung der bestehenden auch zur Schaffung ganz neuer Systeme Veranlassung; sie alle haben die gemeinsame Aufgabe zu lösen, die durch den Einbau der Brücke unterbrochene Schiffsfahrtsstrasse in kürzester Zeit benutzbar zu machen, dann aber eben so rasch den gestörten Verkehr über die Brücke wieder zu vermitteln.

Unter allen im Laufe des betrachteten Zeitraumes ausgeführten beweglichen Brücken behaupten die Drehbrücken, sowohl wegen der Häufigkeit ihrer Anwendung, als auch der aufsergewöhnlichen Abmessungen und der gesteigerten Verkehrsanforderungen

halber (viergeleisige, 118,6 m lange Eisenbahnbrücke), den obersten Rang; sie lassen sich annäherungsweise wie folgt gruppieren:

Die nordamerikanischen Drehbrücken sind die größten, schwersten und zahlreichsten, gleichwohl aber in der Mehrzahl nach einem Grundtypus ausgeführt. Die Fachwerkbrücken sind nahezu ausnahmslos gleicharmig, mit der allgemein üblichen Gelenkbolzen-Knotenausbildung, schlaffen Zuggliedern, Keil- oder Kniehebelstützung an den Enden und Rollenkranzauflagerung (*rim bearing turn table*) über dem Pfeiler angeordnet. Ist ihre Fachteilung sehr groß, was häufig der Fall ist, so sind Hängestäbe zweiter Ordnung zur Zwischenstützung der Fahrbahntafel, die meistens nächst der unteren, geraden Gurtung liegt, eingeschaltet. Das Pfeilerfach ist vielfach als Querkraftnullfeld ausgebildet, indem die beiden Pfeilerpfosten bloß durch eine schwache, aus Rundeisen und Querstäben bestehende Verspannung, die Scherkräfte von Belang nicht aufnehmen kann, gegen Knickungsgefahr in der Hauptträgerebene gesichert werden oder es ist in anderer Weise²⁵⁾ eine ähnliche Wirkung herbeigeführt. Über die Wirkungsweise der Endauflagerung scheinen vielfach Klagen laut zu werden.²⁶⁾ Die Berechnung erfolgt durchaus unter Annahme eines unveränderlichen Trägheitsmomentes.²⁷⁾ Um die Störungen, die durch das elastische Verhalten der Hauptträger entstehen können, möglichst abzuschwächen, wird die Höhe der Hauptträger ganz außergewöhnlich hoch über dem Drehpfeiler gewählt.

Die Ausbildung des Antriebsmechanismus ist in der mannigfaltigsten Weise durchgeführt; man findet außer Handbetrieb die Verwendung von Dampf- und Wasserkraft; vielfach wird Elektrizität und vereinzelt Gas als Motor benutzt.

Vollwandige Drehbrücken finden sich bis zu 55,5 m Trägerlänge ausgeführt, eine anderswo außergewöhnliche Länge für Anwendung von Blechträgern.

Die englischen Drehbrücken zeigen wesentlich mehr Mannigfaltigkeit in ihrer Ausbildung, obwohl sie wenig zahlreich ausgeführt wurden; man findet die Rollenkranzauflagerung ebenso wie den Königsstuhl mit Presswasser-Hebekolben. Die Fachwerke der Hauptträger sind fast ausnahmslos steif, mit einfachem, statisch bestimmten Ausfüllungssystem durchgebildet (nur die Clarence-Brücke ist mit den amerikanischen Gelenkbolzen versehen). Bei Berechnung derselben wird ebenfalls von der Annahme eines unveränderlichen Trägheitsmomentes ausgegangen.²⁸⁾ Die überwiegende Anzahl der Fachwerk- und auch der vollwandigen Drehbrücken ist ungleicharmig angeordnet. Es wurde ja auch zuerst in England auf die Betriebsüberlegenheit der ungleicharmigen über die gleicharmigen Drehbrücken hingewiesen.²⁹⁾ Der Antrieb erfolgt von Hand oder durch Wasserdruck. (Elektrizität bisher nicht verwendet.)

Die Ausbildung der Drehbrücken Deutschlands hat durch den Bau des Nord-Ostsee-Kanales eine ganz besondere Förderung erfahren; jedoch auch bei den übrigen Bauwerken dieses Systemes zeigt sich das Bestreben, für die jeweilig gestellte Aufgabe eine möglichst selbständige Lösung zu finden, infolge dessen sich in der Anordnung und Ausbildung sowohl der Tragsysteme, als auch der Bewegungsvorrichtungen eine große Mannigfaltigkeit bemerkbar macht. Das Hauptgewicht wird auf Einfachheit und

²⁵⁾ Johnson, Bryan, Turneaure, Theorie and practice of modern framed structures, New York 1893. S. 193, Fig. 229.

²⁶⁾ Ebendasselbst S. 364: „... all kinds of make-shifts, which generally shirk their duty entirely.“

²⁷⁾ Ebendasselbst S. 179, § 171 und M. A. Howe, Maximum stresses in draw-bridges having two equal arms, 1894, S. 1.

²⁸⁾ W. H. Warren, Engineering construction in iron, steel and timber, London 1894. S. 166.

²⁹⁾ T. C. Fidler, The hydraulic machinery of swing bridges. Engineering 1892 I, S. 245.

Sicherheit des Betriebes gelegt; deshalb wird für grössere Ausführungen Presswasserantrieb gewählt, der, wenn auch nicht in Bezug auf Einfachheit, so doch in Rücksicht auf unbedingte Verlässigkeit der elektrischen Kraftquelle vorzuziehen sein dürfte. Bei der Durchbildung der Hauptträger der Fachwerke wurde auf klare Kräftewirkung möglichst Bedacht genommen, infolge dessen sich nur einfache, statisch bestimmte Ausfüllungssysteme angeordnet finden. Die statische Untersuchung der eingedrehten Brücke (durchlaufender Träger) erstreckt sich nicht nur auf die Bestimmung der Stabspannungskräfte, hervorgerufen durch das Eigengewicht und alle ungünstigen Belastungsfälle der Verkehrslast, sowie des Winddruckes, wobei vielfach der Veränderlichkeit des Querschnittes Rechnung getragen wird, sondern mehrfach auch auf den Einfluß ungleicher Wärmewirkung der mehr oder weniger der Sonne ausgesetzten Hauptträgergurtungen.

Französische Drehbrücken. Bei denselben wird grundsätzlich wie bei den deutschen die Verwendung der Rollenkranzauflagerung vermieden. Der Antrieb und die ganze Bedienung erfolgt mittels Wasserdruckes in sehr sorgfältiger, aber meist etwas umständlicher Weise; auf die ins Einzelne gehende Durchbildung der sowohl gleicharmig als ungleicharmig angeordneten Tragkonstruktionen selbst scheint weniger Wert gelegt zu werden; darauf deutet wenigstens die fast ausschließliche Verwendung so vielfach statisch unbestimmter Ausfüllungssysteme, daß eine dem heutigen Stand der Theorie entsprechende Berechnung praktisch kaum durchführbar erscheint. Die vielfach schwerfällige äußere Erscheinung mag teilweise in der kleinen zulässigen Beanspruchung (600 kg/qcm) und den dadurch bedingten großen Querschnittsflächen ihre Erklärung finden, obwohl andererseits nicht klar ist, weshalb die Konstruktionshöhe (bei der fast immer unten gelegenen Fahrbahn) nicht öfters höher gewählt wurde. Alle französischen Brücken lassen mehr oder weniger den Einfluß der Barret'schen Konstruktionsweise erkennen.

Die Drehbrücken anderer Länder haben keine ihnen besonders eigentümliche Anordnungen aufzuweisen. Fast in allen Ländern sind die in grössere Flußläufe gestellten Drehbrücken in ausgedrehtem Zustande durch grössere oder kleinere Leit- und Schutzwerke, die meist aus Holzkonstruktion bestehen, gegen anfahrende Schiffe gesichert.

Mit Ausnahme eines Sonderfalles, nämlich der Tower-Brücke, wurden alle bedeutenderen Klapp-, Falt- und Schaukelbrücken des letzten Jahrzehntes in den Vereinigten Staaten Nord-Amerikas erdacht und praktisch durchgebildet; sie lösen die Aufgabe, ein nach oben hin unbeschränktes Durchfahrtsprofil zu schaffen, ohne den Verkehr an den beiderseits anschließenden Ufern im mindesten zu beeinträchtigen, in vorzüglicher Weise. Allerdings muß die für einen Vergleich mit anderen Systemen sehr wichtige Frage der Dauerhaftigkeit bei der Neuheit fast aller dieser Systeme auf geraume Zeit wohl noch eine offene bleiben. Infolge einseitiger Belastung erfolgen in der Brückenmitte grössere oder kleinere elastische Bewegungen, die im Laufe der Zeit in Verbindung mit kleinen wagrechten Schwankungen eine ungünstige Wirkung auf die Verriegelung in der Brückenmitte erwarten lassen; am besten in dieser Hinsicht sowohl, als auch in Bezug auf seitliche Steifigkeit dürften sich die in Fig. 67 dargestellten Faltbrücken bewähren.

Dieselben Erwägungen hätten auch für die aus Fig. 55 ersichtliche neue amerikanische Doppel-Drehbrücke bezüglich des Stosses in der Brückenmitte Platz zu greifen; dies um so mehr, als soweit aus den Zeichnungen ersichtlich, der Verriegelungszapfen ausser auf Scherfestigkeit auch auf Biegungsfestigkeit beansprucht wird.

Die neueren Hub- und Zugbrücken entsprechen denselben Anforderungen, wie die eben besprochenen Brückengattungen; ist die Höhe und Lichtweite sehr beträchtlich,

so kommt wohl in erster Linie die Waddell'sche Konstruktion in Betracht (Fig. 75); allerdings wird deren wirtschaftlicher Wert bei wachsender Stützweite, der erforderlichen Gegengewichte und der erheblichen Querschnitts-Abmessungen halber, die den Türmen wegen der bedeutenden Windkräfte im letzteren Fall zu geben sind, sich erheblich mindern. Auf eine in Bezug auf äußere Erscheinung befriedigende Ausgestaltung dürfte bei diesem System wohl kaum zu hoffen sein.

Größere Roll- und Kranbrücken sind in dem letzten Jahrzehnt nicht zur Ausführung gelangt; letzteres System dürfte bei den Anforderungen, die jetzt an bewegliche Brücken gestellt werden, seine ohnehin immer bescheidene Stellung unter diesen Brücken vollends eingebüßt haben und nur für ganz untergeordnete Zwecke zeitweilig in Frage kommen. Bei Rollbrücken ist zwar immer ein großer Kraftbedarf zu ihrer Bewegung erforderlich, gleichwohl wurden bei sehr bedeutenden Brückenbauten mehrfach Rollbrückenentwürfe ausgearbeitet und in erster Linie (Duluth) zur Ausführung in Vorschlag gebracht. Hinderlich erweist sich der Ausbildung dieses Systemes der bei großer zu überbrückender Stützweite erhebliche Bedarf an Hinterland.

Schiffbrücken (schwimmende Brücken) und Fähren verdanken ihre Anwendung meistens wesentlich anders gelagerten Verkehrs- und sonstigen örtlichen Verhältnissen.

Alle neueren, von den bisher üblichen abweichenden Systeme beweglicher Brücken gehen von demselben Grundgedanken aus: die Brücke müsse mit dem Mindestbedarf an Kraft geöffnet und geschlossen werden. Dies suchte man auf verschiedenem Wege durch Anordnungen zu erreichen, die beim Bewegen der Brücke nur mehr die Überwindung der Reibungs- und der durch Windkräfte erzeugten Widerstände erfordern.

Beim Vergleich der verschiedenen Systeme beweglicher Brücken drängt sich die leider offen bleibende Frage nach dem wirtschaftlichen Wert auf; zur Ermittlung des letzteren fehlen so ziemlich alle Unterlagen. Das vorhandene Material gestattet nicht einmal die bereits früher gestellte Aufgabe³⁰⁾ die für den ausführenden Ingenieur brauchbaren Eigengewichtsformeln für die Hauptträger der Drehbrücken einer besseren Lösung zuzuführen. Durch die verschiedenen, vielfach auseinandergehenden Methoden der Querschnittsbestimmung ist diese Aufgabe ohnehin erheblich erschwert worden. Es darf vielleicht an dieser Stelle der Wunsch ausgesprochen werden, daß bei Veröffentlichung neuer Bauwerke Gewichts- und Kostenangaben in ausgedehnterem Maße und in mehr systematischer Weise gegeben werden als bisher.

VIII. Neuere theoretische Untersuchungen.

Die Entwicklung der Theorie der eisernen Brückenträger hat eine Ausbildung und eine Ausdehnung erreicht, welcher der ausübende Ingenieur nur mehr mit Mühe folgen kann; es ist daher um so erfreulicher, daß die neueren Arbeiten auf diesem Felde sich meist das Ziel gesteckt haben, einerseits die Lösung bisher ziemlich verwickelter Aufgaben ganz wesentlich zu vereinfachen, andererseits klarzulegen, welchen Einfluß ver-

³⁰⁾ Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. S. 88.

schiedene bisher als zulässig erachtete Vernachlässigungen bei der allgemein üblichen Rechnungsweise (bei den Vollwandträgern die Vernachlässigung der Formänderungsarbeit der Wandfüllungen, bei den Fachwerken die der Ausfüllungsstäbe) auf das Endergebnis haben. Innerhalb des Rahmens vorliegenden Heftes kann jedoch nur nachstehende kurze Übersicht der neueren Arbeiten auf theoretischem Gebiete gegeben werden.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet).

Neuere theoretische Untersuchungen betreffend.

1. R. Land, Über die Ermittlung und gegenseitigen Beziehungen der Einflußlinien für Träger. Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 105 (auch als Sonderdruck erschienen). Der Verfasser setzt die Ermittlung der Biegelinien als bekannt voraus und giebt, hierauf sich stützend, ein allgemeines zeichnerisches Verfahren, um die Festpunkte für Träger veränderlichen Querschnittes (für vollwandige oder Fachwerkträger) zu bestimmen; nachdem hierauf die Einflußlinien eines Stützenmomentes und eines Auflagerdruckes entwickelt wurden, wird noch die Darstellung der Einflußlinien für die Stabspannungskräfte eines beliebig geformten Fachwerkes aus den Biegemomenten, bezogen auf die Fachknotenpunkte, gezeigt.
2. Müller-Breslau, Über einige Aufgaben der Statik, welche auf Gleichungen der Clapeyron'schen Art führen. Zeitschr. f. Bauw. 1891, S. 103 (auch als Sonderdruck erschienen). Der Verfasser giebt eine neue zeichnerische Lösung des 3 Momenten-Satzes für den Träger mit unveränderlichem Querschnitt:

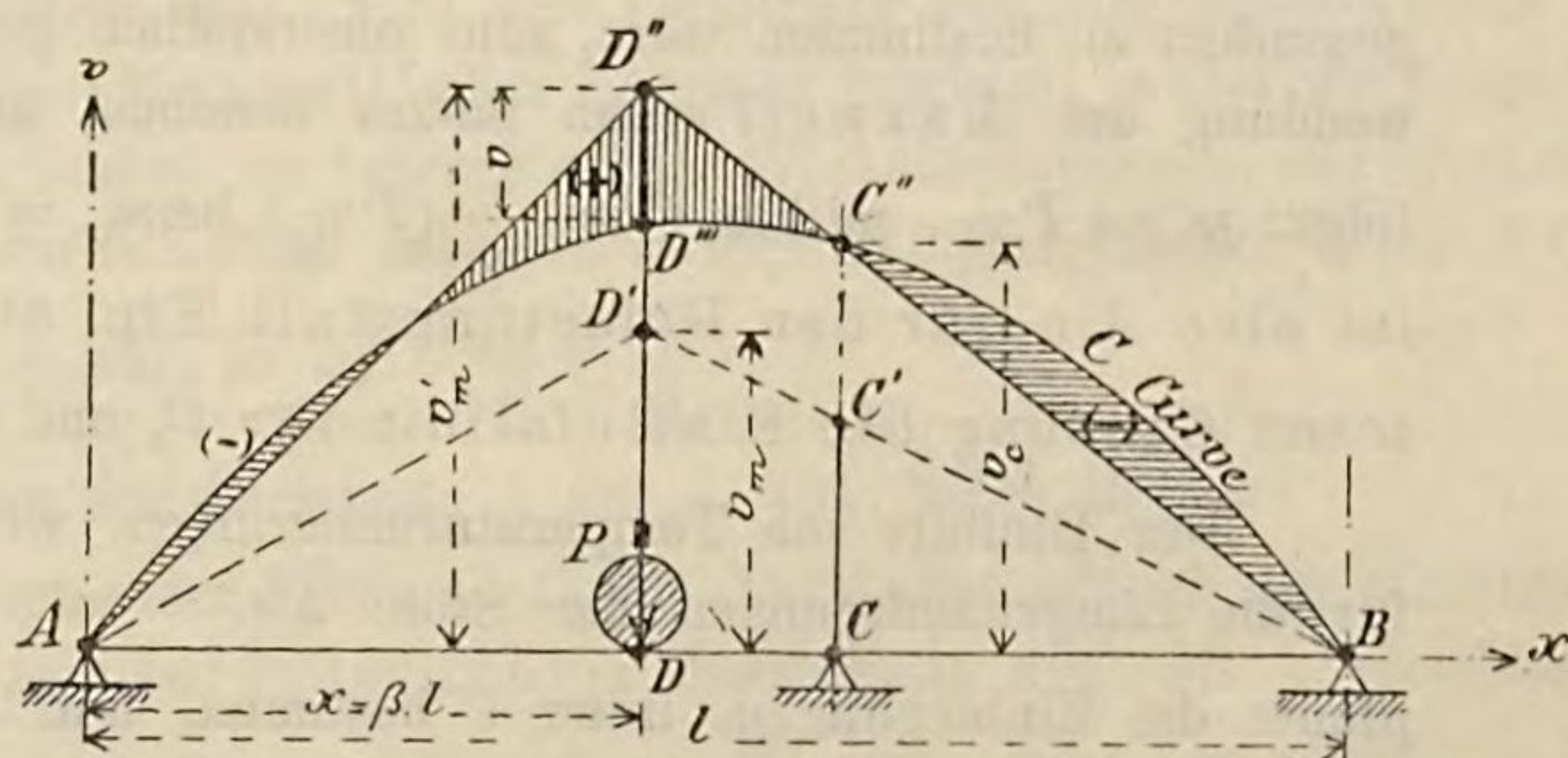
$$\left. \begin{aligned} M_{m-1} l_m + 2 M_m (l_m + l_{m+1}) + M_{m+1} l_{m+1} &= \left(\frac{6 M_m}{l_m} + \frac{6 M_{m+1}}{l_{m+1}} \right) \left\{ \dots \dots \dots 1. \right. \\ &- 6 E J \frac{l_m + l_{m+1}}{l_m l_{m+1}} \delta_m + 3 \tau E J \frac{l_m + l_{m+1}}{h} \Delta t \end{aligned} \right\}$$

wobei der 1. Klammerausdruck rechts die Wirkung der lotrechten Lasten, der 2. Ausdruck die einer Senkung der Mittelstütze in Bezug auf die Verbindungsgerade der beiden Außenstützen um den Betrag δ_m und der 3. Ausdruck die eines Wärmeunterschiedes $\Delta t = t_o - t_u$ der obersten und untersten Faser des Balkens bezeichnet. Hierauf wird gezeigt, wie die für vorliegenden Fall gefundene Lösung auch auf den Träger mit veränderlichem Querschnitt erweitert werden kann.

3. A. Hübner, Durchgehender Träger mit Querkraft-Nullfeldern. Zeitschr. f. Bauw. 1891, S. 552 (auch als Sonderdruck). Es wird auf die erste gröfsere Anwendung eines solchen Nullfeldes bei der 1883 fertiggestellten Niagara-Brücke verwiesen.

4. L. Freytag, Vereinfachung in der statischen Berechnung elastischer Balkenträger, 1892. Die von dem Verfasser entwickelte Methode der Berechnung lotrecht belasteter, auf beliebig

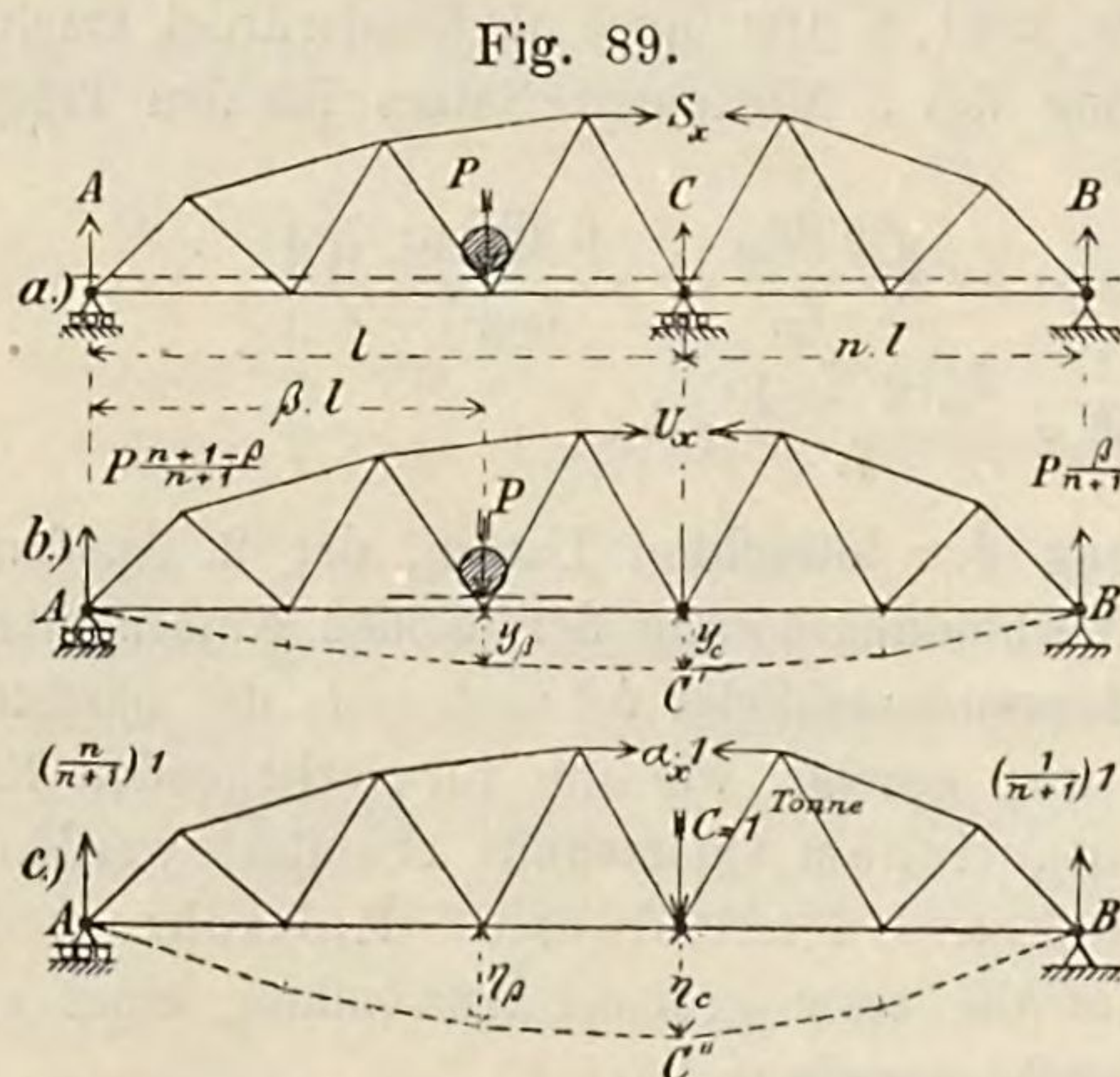
Fig. 88.



vielen und in beliebiger Höhe gelagerter Balkenträger beruht auf rein geometrischer Grundlage (dem Momentenparaboloid) und läßt sich mit Vorteil bei der Berechnung durchlaufender Träger mit veränderlichem Querschnitt anwenden. Die Berechnung des in Fig. 22, S. 20 dargestellten Drehbrücken-Hauptträgers wurde nach dieser Methode wie folgt durchgeführt: Bringt man die an den verschiedenen Trägerquerschnitten veränderlichen Trägheitsmomente Θ_p mit einem beliebigen, unveränderlich aufzufassenden Trägheitsmoment Θ (am einfachsten mit dem Trägheitsmoment an der Mittelstütze) in die Beziehung $\Theta_p = \beta_p \cdot \Theta$, so kann man mittels der Gleichung 26^b auf S. 70 die Ordinaten der in Fig. 88 dargestellten C-Linie berechnen, welche die Grundlage für die ganze weitere statische Untersuchung bildet. Das thatsächliche Moment für einen beliebigen Querschnitt in der Entfernung x vom linken

Endauflager setzt sich zusammen aus dem positiven Beitragswert v_m , hervorgerufen durch die Last P , wenn die Mittelstütze zeitweilig weggedacht wird, und einem negativen Beitragswert v_o , der mittelbar durch dieselbe Last infolge des tatsächlichen Vorhandenseins der Stütze C erzeugt wird. Da nun die lotrecht abwärts gerichtete Kraft P , über C gestellt, einen — absolut betrachtet — ebenso großen Einfluss wie der nach aufwärts wirkende Stützdruck C übt, so müssen sich für das Moment an jeder beliebigen Stelle des Trägers die $+$ und $-$ Einflusslinien im Punkte C schneiden. Es stellt also die schraffierte Fläche die gesuchte Einflusslinie v dar, die man einfach aus den bereits ermittelten Beiträgen v_m und v_o dadurch erhält, dass man $v'_m = v_m \cdot \frac{C C''}{C C'}$ macht. (Vergl. auch: Müller-Breslau, Die graphische Statik der Baukonstruktionen, Bd. II, 1, S. 333, Fig. 318 e).

5. W. Keck, Elasticitätslehre, 1892, S. 47–52. Behandelt kurz den prismatischen Balken auf 3 Stützen und zwar 1. mit stetiger, aber unsymmetrischer Belastung, sowie 2. mit einer Einzellast und giebt die Einflusslinien der Auflagerkräfte für beide, die elastische Linie nur für den ersten Belastungsfall. Ebendasselbst auf S. 87–95 und 100–107 wird der Brückenträger mit unveränderlichem Trägheitsmoment auf 3 Stützen mit gleichförmig verteilter beweglicher Belastung bezüglich des Einflusses einer Änderung in der Höhenlage untersucht, sowie die Ermittlung der Einflusslinien für die Momente und Scherkräfte gezeigt.
6. F. Engesser, Die Zusatzkräfte und Nebenspannungen eiserner Fachwerksbrücken, 1892/93. Dieses Buch enthält eine ganze Anzahl eingehender Untersuchungen und Betrachtungen, die für jeden Brückenkonstrukteur sehr beachtenswert sind.
7. Müller-Breslau, Graphische Statik der Baukonstruktionen, Bd. II, 1. S. 141. Untersuchung eines über 2 Öffnungen gestreckten Balkens: Sind die Stabquerschnitte bereits



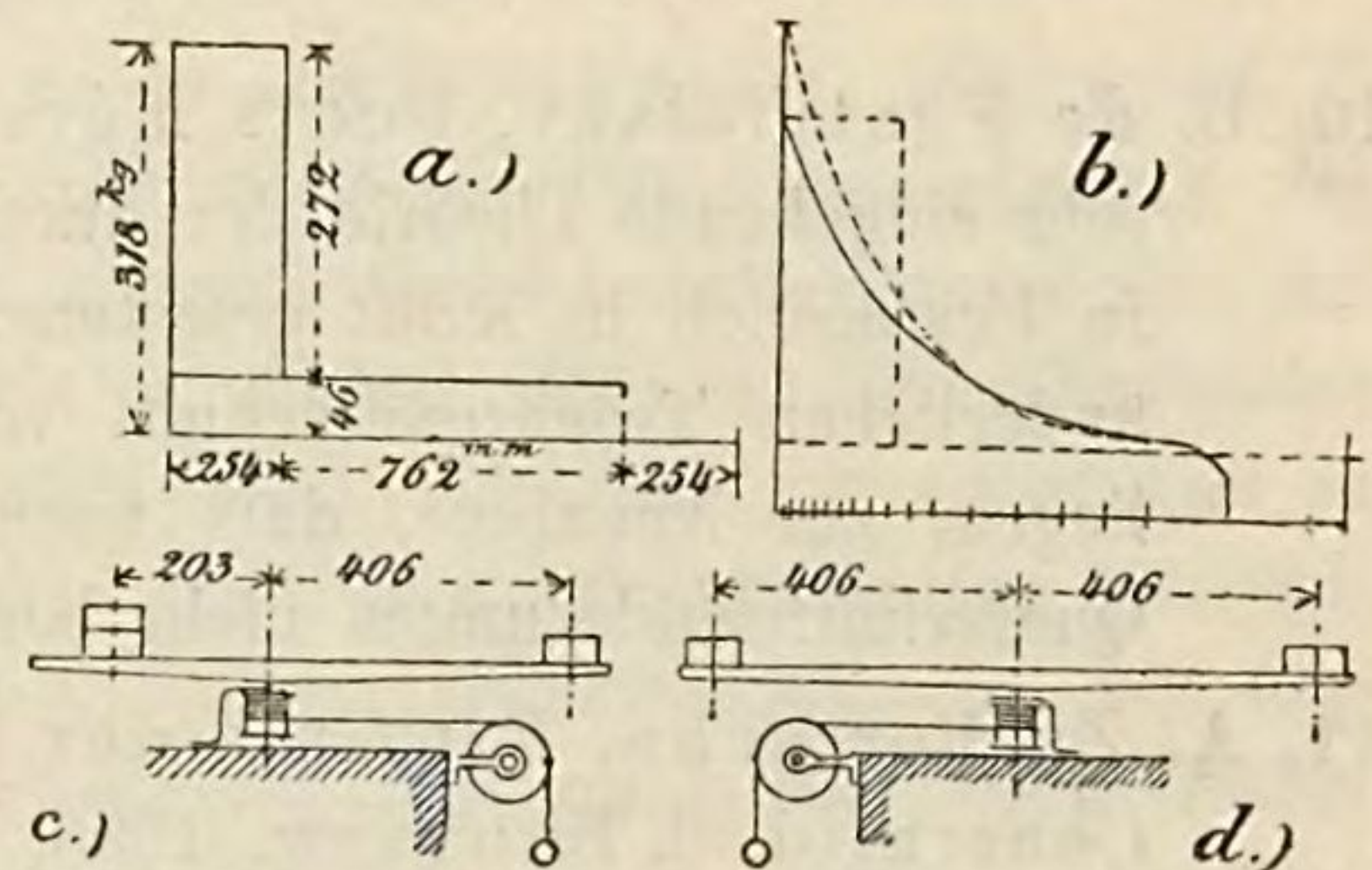
angenähert gefunden, so ergibt sich folgender einfache Rechnungsgang. Für die beiden in Fig. 89 b u. c dargestellten Belastungsfälle lassen sich sämtliche Stabspannungen U_x bzw. $\alpha_x \cdot 1$ ohne weiteres in einfacher Weise bestimmen; desgleichen durch einen Williot'schen Verschiebungsplan (ebendasselbst S. 57) oder nach irgend einer bekannten Methode die Durchbiegungen y_o bzw. η_o . Da nun aber die 3 Auflager der Fig. 89 a als lotrecht unverschieblich angenommen sind, muß $1 y_o - \eta_o \cdot C = 0$ oder $C = \frac{y_o}{\eta_o} \cdot 1$ sein. Bei einer bleibenden Senkung der Mittelstütze um den Betrag c findet sich der Auflagerdruck C aus der Gleichung $C = \frac{1}{\eta_o} (y_o - c)$. Die gesuchten tatsächlichen Stabspannungen finden sich nun aus der Gleichung $S_x = U_x + \alpha_x \cdot C$, wenn für die in Fig. 89 b u. c dargestellten Belastungsfälle mittels Cremona-Plänen die Stabspannungskräfte U_x und $\alpha_x \cdot 1$ bestimmt sind. Die tatsächliche Durchführung der Rechnung würde sich, da für jeden Belastungsfall die Biegelinie $A C' B$ (Fig. 89 b) gesondert zu bestimmen wäre, sehr umständlich gestalten; dieser Übelstand wird jedoch durch Anwendung des Maxwell'schen Satzes behoben, aus welchem letzterem für Fig. 89 b die Beziehung folgt: $y_o = P \eta_\beta$, mithin $C = \frac{1}{\eta_o} (P \eta_\beta)$ bzw. $= \frac{1}{\eta_o} \Sigma (P \eta_\beta)$ für ein Einzellastensystem. Es ist also die für den Belastungsfall Fig. 89 c gezeichnete Biegelinie der belasteten Gurtung die Einflusslinie für C , und der Multiplikator dieser Linie ist $\left(\frac{1}{\eta_o}\right)$.

Der Einfluss von Temperaturänderungen wird zweckmäßig gesondert behandelt, indem man für die Längenänderungen der Stäbe $\Delta s_t = \tau t s$ mittels eines 3. Williot'schen Verschiebungsplanes die Einbiegung y_t unter C bestimmt, und hieraus $C_t = 1 \frac{y_t}{\eta_o}$ und $S_t = \alpha_x C_t$ findet, wenn hierbei s die ursprüngliche Stablänge, τ die Ausdehnungsgröße für 1°C . und t die Anzahl der Grade, um welche sich der Wärmezustand geändert hat, bedeutet. Ebendasselbst S. 332–337 wird der durchgehende, beliebig geformte Fachwerksbalken mit 3 ungleich hohen Stützpunkten eingehend behandelt. Es werden der Reihe nach die Einflusslinien für die Mittelstütze, für die Endstütze, für ein Knotenpunktmoment und für einen Ausfüllungsstab entwickelt.

Die erforderliche Biegelinie der belasteten Gurtung wird dabei als Seilpolygon aus den elastischen Gewichten bestimmt und die Formänderung der Ausfüllungsstäbe hierbei vernachlässigt. Für Parallelträger werden am zweckmäßigsten die Stabspannungskräfte aus den Querkraften ermittelt, deren Einflußfläche dargestellt wird. Schließlich wird noch die Berechnung des Einflusses einer gleichmäßigen Erwärmung auf den Mittelstützenwiderstand bei ungleicher Höhenlage der Auflagerpunkte, sowie die Wirkung einer Erhöhung des Wärmezustandes der oberen Gurtung allein gezeigt. Auszug hiervon: „Hütte“, Ingenieur-Taschenbuch 1893 II, 15. Aufl. S. 236.

8. T. C. Fidler, The hydraulic machinery of swing bridges. Engineering 1892 I, S. 245, mit Abb. Der Verfasser stellte anlässlich der Ausführung einer größeren ungleicharmigen Drehbrücke in England (Anglesia-Drehbrücke in Cork) theoretische Untersuchungen an über die zweckmäßigsten Bewegungsvorrichtungen überhaupt, wie über den erforderlichen Kraftbedarf, um eine derartige Brücke nicht nur in Bewegung zu setzen, sondern ihr auch eine gewisse Geschwindigkeit zu erteilen. Er kommt zu dem durch die Erfahrung bestätigten Ergebnis, daß bei großen und schweren Drehbrücken die zur Überwindung der Reibungswiderstände erforderliche Kraft einen verhältnismäßig kleinen Betrag von dem Kraftaufwand ausmacht, der zur Erteilung der der bewegten Masse zu gebenden Geschwindigkeit benötigt wird, was auch ohne weiteres einzusehen ist, da ja die Geschwindigkeit jedes bewegten Teiles der ganzen drehenden Masse einfach proportional ist seinem Abstand von der Drehaxe, während die Trägheitsmomente proportional mit den Quadraten dieser Abstände wachsen. Die Versuche mit den in Fig. 90 c u. d dargestellten Modellen bestätigen die rechnerisch gefundenen Ergebnisse, indem die um 50% schwerere, ungleicharmige Drehbrücke c mit demselben Gewicht in eine viel raschere Drehung versetzt wird, als die gleicharmige Drehbrücke d. Die Fig. 90 a u. b geben die theoretischen und thatsächlichen Arbeitsdiagramme beim Antrieb und der Drehung mittels Druckwassers. Fidler hält den Antrieb mittels Wasserdruckes für den zweckmäßigsten, und zwar, weil es sich bei Drehbrücken meist darum handelt, einen Vorrat von Energie aufzustapeln, der stundenlang nicht benötigt wird, plötzlich aber eine große Kraft entfalten kann. Fidler gelangte zu folgenden Schlussfolgerungen, die mit den bisherigen Erfahrungen im allgemeinen gut übereinstimmen: 1. Brücken, die nur mit Handbetrieb gedreht werden müssen, sollen möglichst leicht, gleicharmig und ohne Rollenkranzauflagerung (wegen der mit letzterer verbundenen größeren Reibungswiderstände) angeordnet werden. 2. Ist die der Brücke zu erteilende Geschwindigkeit erheblich, so spielen die Reibungswiderstände eine untergeordnete Rolle, während die zu überwindende Trägheit für den Kraftbedarf ausschlaggebend ist; es sind daher Königsstuhl- und Rollenkranzanordnungen gleich gut anwendbar. 3. Bei ganz genau vorgeschriebener großer Geschwindigkeit ist nur eine ungleicharmige Drehbrücke mit kurzem Hinterarm und schwerem Gegengewicht anzuordnen.

Fig. 90.



9. Müller-Breslau, Neuere Methoden der Festigkeitslehre. 2. Auflage, 1893, S. 55. Die Einflußlinie für den Auflagerdruck der Mittelstütze eines durchlaufenden Fachwerkträgers, der auf 3 in einer Geraden liegenden Stützpunkten ruht, wird mit Benutzung des Biegungspolygones der belasteten Gurtung in Verbindung mit dem Maxwell'schen Lehrsatz bestimmt, wobei die Biegelinie als Seilpolygon aus den als Einzellasten zu betrachtenden Winkeländerungen der Gurtungsstäbe der belasteten Gurtung abgeleitet wurde. Faßt man die in Fig. 89 b dargestellte Linie $A C' B$ als das derart gefundene Biegungspolygon auf, so ist $C = P \frac{y_\beta}{y_c}$.

Ebendasselbst S. 90. Ableitung der Gleichung 1 auf S. 101 dieses Heftes.

Ebendasselbst S. 168. Bestimmung der Einflußlinie für den Auflagerdruck der Mittelstütze eines geraden durchlaufenden Balkens mit veränderlichem Querschnitt und mit 3 gleichhohen Stützpunkten. Die Gleichung der Einflußlinie lautet wieder $C = P \frac{y_\beta}{y_c}$ (Fig. 89 b); die Ordinaten der erforderlichen Biegelinie $A C' B$ sind hierfür mittels eines beliebig zu wählenden Polabstandes aus einer Belastungsfläche abzuleiten, deren Ordinaten gegeben sind durch die Gleichung $Z = M_x \frac{J_x}{J}$, wobei M_x das Moment im Querschnitt x für den in A und B frei aufgelagerten, im

Punkt C mit der lotrecht abwärts wirkenden Last $= 1$ belasteten Trägers AB , J_x das jeweilige Trägheitsmoment am betreffenden Querschnitt x und J ein beliebig großes, unveränderliches Trägheitsmoment bedeutet. Auszug hiervon: „Hütte“, Ingenieur-Taschenbuch 1893 II, 15. Auflage, S. 202.

Ebendasselbst S. 228 wird für die Formänderungsarbeit der Schubkräfte bei vollwandigen stabförmigen Trägern mit unveränderlichem Trägheitsmoment die ganz allgemein gültige Gleichung

$$\mathfrak{U} = \beta \int \frac{Q^2}{2GF} dx \quad 2.$$

gefunden; hierbei ist β ein ausschließlich von der Form des Trägers abhängiger Zahlenwert, Q die Querkraft, F die Querschnittsfläche und die Elastizitätsziffer für Schubfestigkeit durch $G = \frac{mE}{2(m+1)}$ bestimmt, wobei E die Elastizitätsziffer für die Biegezugfestigkeit bedeutet; für Schweiß- und Flußeisen kann $\frac{1}{m} = \frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ gesetzt werden.

10. B. de Fontviolant, *Ponts métalliques à travées continues*, Paris 1893. Die hier gegebene, sehr eingehende Theorie der durchlaufenden Träger soll die Durchführung der vom 29. August 1891 in Frankreich in Kraft getretenen neuen Brückenverordnung erleichtern; sie setzt durchaus unveränderlichen Trägerquerschnitt voraus. Dies berechtigt vielleicht, da andere Angaben nicht vorliegen, zur Annahme, daß auch bei Berechnung der Drehbrücken-Hauptträger der Einfluss von Querschnittsänderungen nicht berücksichtigt wird.
11. A. Zschetzsche, Einfluss der Schubkräfte auf die Biegung einfacher Vollwandträger. *Centralbl. d. Bauverw.* 1893, S. 386. Bekanntlich ist es üblich, bei Bestimmung der Einbiegung vollwandiger Träger nur den Betrag in Rechnung zu ziehen, der durch die Verdrehung der Querschnitte hervorgerufen wird; berücksichtigt man aber auch die relativen Verschiebungen der Querschnitte, so ergibt sich eine weitere Biegeordinate, die durch die Gleichung

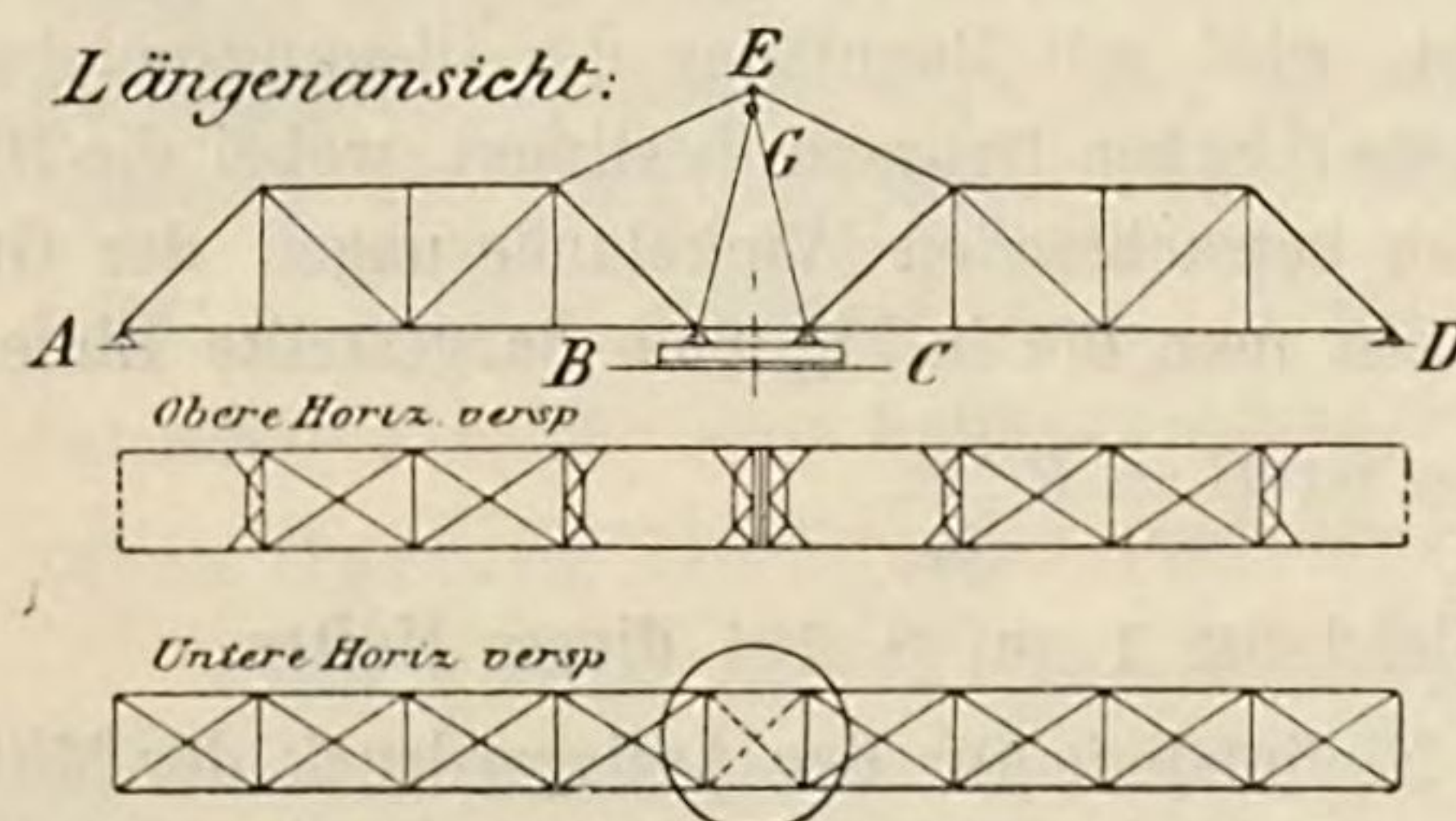
$$y = \frac{M_x}{F \cdot G} \quad 3.$$

dargestellt ist; hierbei bedeutet M_x das Biegemoment des betrachteten Querschnittes, F die Stegquerschnittsfläche des Trägers von veränderlicher Höhe und G die bereits unter 9 erwähnte Elastizitätsziffer für Schubfestigkeit.

12. Johnson, Bryan, Turneaure, *Theorie and practice of modern framed structures*, New York 1893, S. 179 bis 196. Die statische Berechnung erfolgt mit Benutzung von Einflusslinien, die für die Auflagerdrücke unter steter Voraussetzung eines unveränderlichen Querschnittes gegeben werden. Hierbei sind die Formeln für: 1. den Träger auf 3 Stützen, 2. den Träger auf 4 Stützen mit gleich großen Aufsenfächern und gewöhnlichem Zwischenfach und 3. denselben mit dem Querkraftnullfeld als Zwischenfach aufgestellt; in den Formeln für letzteren hat sich auf S. 194, wie von Whited³¹⁾ nachgewiesen ist, ein Fehler eingeschlichen, der sich durch diese ganze Seite hindurchzieht, worauf bei allenfallsiger Benutzung Rücksicht zu nehmen ist.

Auf S. 367 bis 381 wird die Berechnung der Endhebe- und Drehvorrichtungen für den in Fig. 91 dargestellten Typus durchgeführt. Beachtenswert an letzterem ist die eigentümliche Idee,

Fig. 91.



die dieser als „standard form of trusses“ bezeichneten Trägerform zu Grunde liegt. Die starke Neigung der oberen Gurtungsstäbe bezweckt teils, da durch die Einschaltung des Gelenkes EG die beiden Hauptpfosten GB und GC für jede Belastung gleich große Kräfte aufzunehmen haben, eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Gewichtes auf den Drehtisch, teils eine gewisse Sicherung der Brücke im ausgedrehten Zustand gegen einfahrende Schiffe, indem, sowie durch letzteres der eine Arm etwas gehoben werden sollte, die Brücke das Be-

streben hat, gleichmäßig auf die Punkte B und C zurückzugehen.

Aus allem ist ersichtlich, daß man sich mit angenäherten Belastungsannahmen und Berechnungsmethoden auch für die Drehbrücken begnügt.

³¹⁾ The moments of stresses in swing spans with 4 supports. *Engineering News* 1895 II, S. 280.

momente und Schubkräfte ändern sich, verglichen mit den angenäherten, sämtlich in algebraisch positivem Sinne, d. h. positive Werte vergrößern sich, negative verkleinern sich, absolut genommen.

16. C. J. Kriemler, Tabellen zur schnellen Ermittlung der Deformation und des Gleichgewichtszustandes beliebiger massiver Träger von konstantem Trägheitsmomente, Vevey 1894, 62 Seiten, mit 1 Tafel. Die Tabellen, denen auch eine Anzahl Anwendungsbeispiele beigelegt ist, enthalten die Einflusswerte für die Biegungsordinaten y und die Tangenten $\frac{dy}{dx}$ an die Biegelinie und können in manchen Fällen, besonders mit Beziehung des Maxwell'schen Satzes, vorteilhaft verwendet werden. Die Behandlungsweise des Trägers mit veränderlichem Trägheitsmoment ist in dem Anhang gezeigt.
17. Pustau, Auflagerdrücke, Laststellungen und Durchbiegung vollwandiger durchlaufender Träger. Organ f. d. Fortschritte d. Eisenbahnwesens 1894. Neue Folge XXXI, S. 167, mit Taf. 25 bis 27. Entwicklung von Tabellen für durchlaufende Träger von 2 bis 4 Öffnungsfeldern zur Bestimmung der Auflagerdrücke, ungünstigen Laststellungen, elastischen Durchbiegungen und Einfluß der Höhenlageänderung der Stützen auf die Größe der Stützendrücke und die Durchbiegung in der Mitte der Trägeröffnung.
18. Weyrauch, Über die Berechnung der Brückenaullager. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1894, S. 131. Empfiehlt die Berechnung der Auflager auf Grund der neuen Formeln von Hertz und zeigt, daß dadurch dieselbe sich nicht umständlicher gestaltet. Es folgen Angaben über die zulässigen Beanspruchungen für die in Betracht kommenden Materialien und die Durchführung eines Beispiels. Schweißseisen kommt überhaupt nicht für diese Zwecke in Betracht; nur Gußeisen und Stahl. Die Eignung des ersteren ist darin begründet, daß infolge seiner kleinen Elastizitätsziffer große Druckflächen bei verhältnismäßig hoher zulässiger Beanspruchung entstehen, während beim Stahl die hohe zulässige Beanspruchung allein den Vorzug bildet. Weitere Versuche wären sehr erwünscht.

Ebendasselbst S. 571 werden die inzwischen bekannt gewordenen Versuche besprochen.

19. R. Land, Deutscher Baukalender 1894, S. 110 bis 113, mit Fig. 90 bis 93. Behandelt auf kinematisch-statischem Wege den einfach statisch unbestimmten Träger mit besonderer Anwendung auf die Ermittlung der Einflußlinien für die maßgebenden Größen des durchlaufenden Trägers über 2 Öffnungen. Der Litteraturnachweis hierzu befindet sich ebendasselbst, S. 108.
20. M. A. Howe, Maximum stresses in draw-bridges having two equal arms 1894. Terrehaute, Ind. 17 Seit., mit Abb. und 1 Tafel. Anwendung des 3 Momenten-Satzes bei unveränderlichem Trägheitsmoment unter der Voraussetzung, daß die Trägerenden jederzeit auf irgend eine Weise niedergehalten werden.
21. Barkhausen, Faltbrücken. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 1148, mit Abb. Der Verfasser giebt eine systematische Darstellung der Wirkungsweise des Klappbrückensystemes unter Zugrundelegung nachstehender, dem Aufsatz entnommener Fig. 92 bis 95. Bezeichnet in denselben L die Klappenlänge bis zum festen Drehpunkt A der Hinterklappe, l die Länge der beiden gleichlangen Klappenarme, S_1 den Schwerpunkt der Vorder- und S_2 den der Hinterklappe, B das Verbindungsgelenk der beiden Klappenarme, h die Höhe des Aufhängepunktes D über der Drehaxe A , h_1 die Höhe der letzteren über dem Wasserspiegel, s die Länge der Hängekette DG ; wird ferner der Weg des Schwerpunktes S_1 mit $1'$ bis $4'$, und der des Gesamtschwerpunktes, letzteren entsprechend, mit $1''$ bis $4''$ bezeichnet und dabei berücksichtigt, daß, den gemachten Annahmen gemäß, in S_1 und S_2 gleiche Gewichte angreifen, so muß der Gesamtschwerpunkt stets in der in der Mitte der den jeweiligen Brückenstellungen entsprechenden Verbindungsgeraden liegen. Die in dieser Art bestimmte Gesamtschwerpunktsbahn ist in den Fig. 92 bis 95 eingetragen und giebt einen anschaulichen Überblick über den beim Aus- und Eindrehen der Brücke erforderlichen Gesamtarbeitsaufwand $2lp \cdot t_4$ und die dabei erfolgenden Bewegungsvorgänge; hierbei bezeichnet p das Gewicht eines Klappenarmes auf die Längeneinheit und t_4 den lotrechten Abstand des Punktes $4''$ der Gesamtschwerpunktsbahn $1''$ bis $4''$ von der Drehaxe A . Ohne weiteres geht für das in Fig. 92 gewählte Verhältnis von h und h_1 hervor, daß die geschlossene Brücke das Bestreben hat, sich zu öffnen, und daß sie bei dieser Bewegung mit größter Geschwindigkeit in die Endstellung gelangen würde. Umgekehrt benötigt die Anordnung Fig. 93 des größten Kraftaufwandes beim Beginn des Öffnens, kann aber dann während des größeren Teiles der Bewegung mit verhältnismäßig geringem Kraftaufwand bis in die Schlufsstellung, in die sie auch ohne große Stosswirkung einläuft, weiter

bewegt werden. Bei der in Fig. 94 dargestellten Anordnung wird beim vollständigen Öffnen der Brücke die Gesamtarbeit Null verrichtet; hierfür muß $h_1 = \frac{L}{3}$ gemacht werden. Es wird näher begründet, daß gleichwohl nicht diese letztere, sondern die in Fig. 93 dargestellte Gruppe von Faltbrücken für die Ausführung am besten sich eignet. Fig. 95 giebt die Anordnung mit Berücksichtigung der körperlichen Abmessungen des Bauwerkes; als gegebene Grundmaße sind in der Regel folgende anzusehen: die Länge $L = G_0 A$, der Abstand i von der Lotrechten durch A (maßgebend für die Durchfahrtsweite) und die Höhe d , damit die Brücke nicht in die Wasserlinie taucht.

Fig. 92.

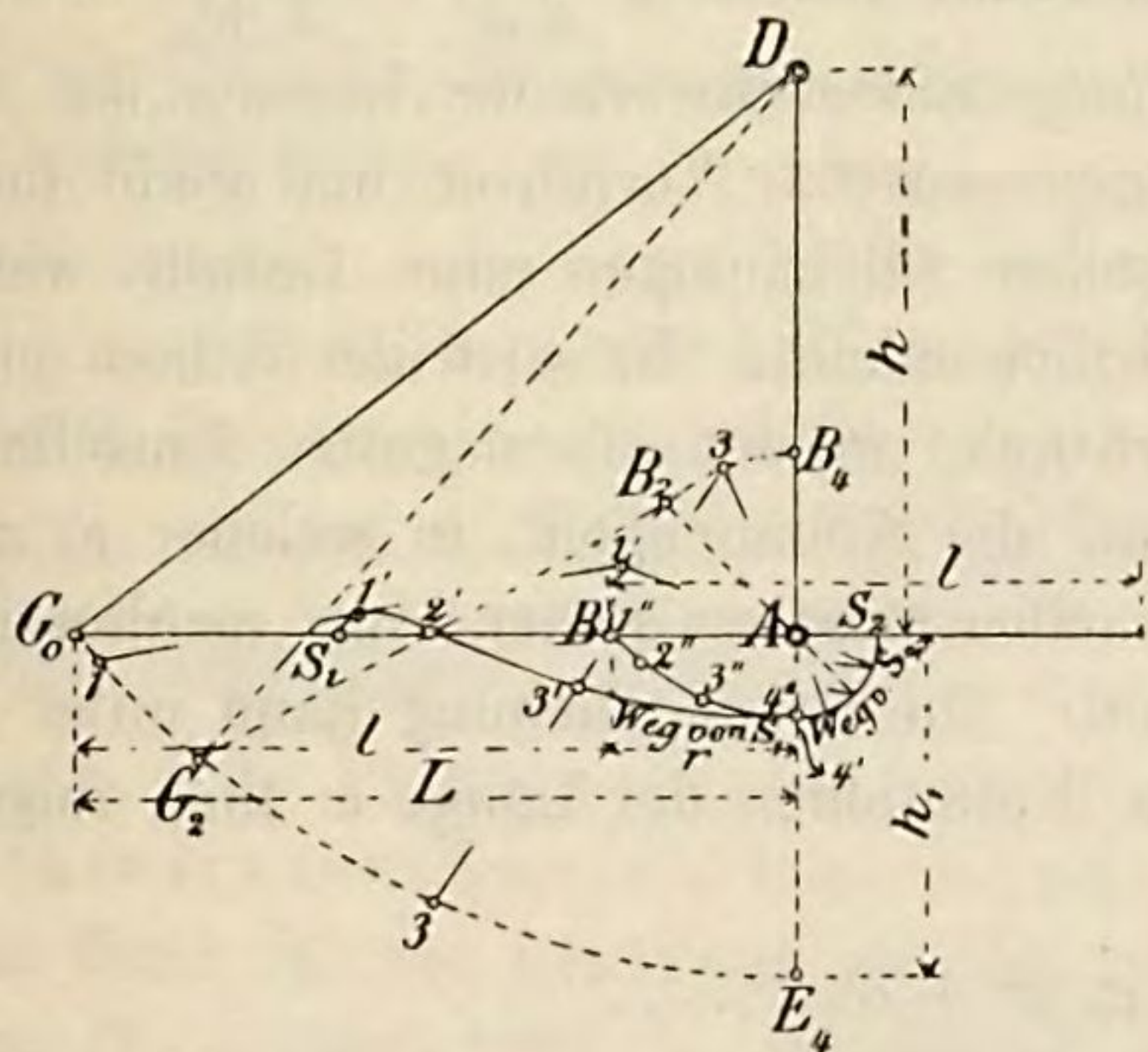


Fig. 94.

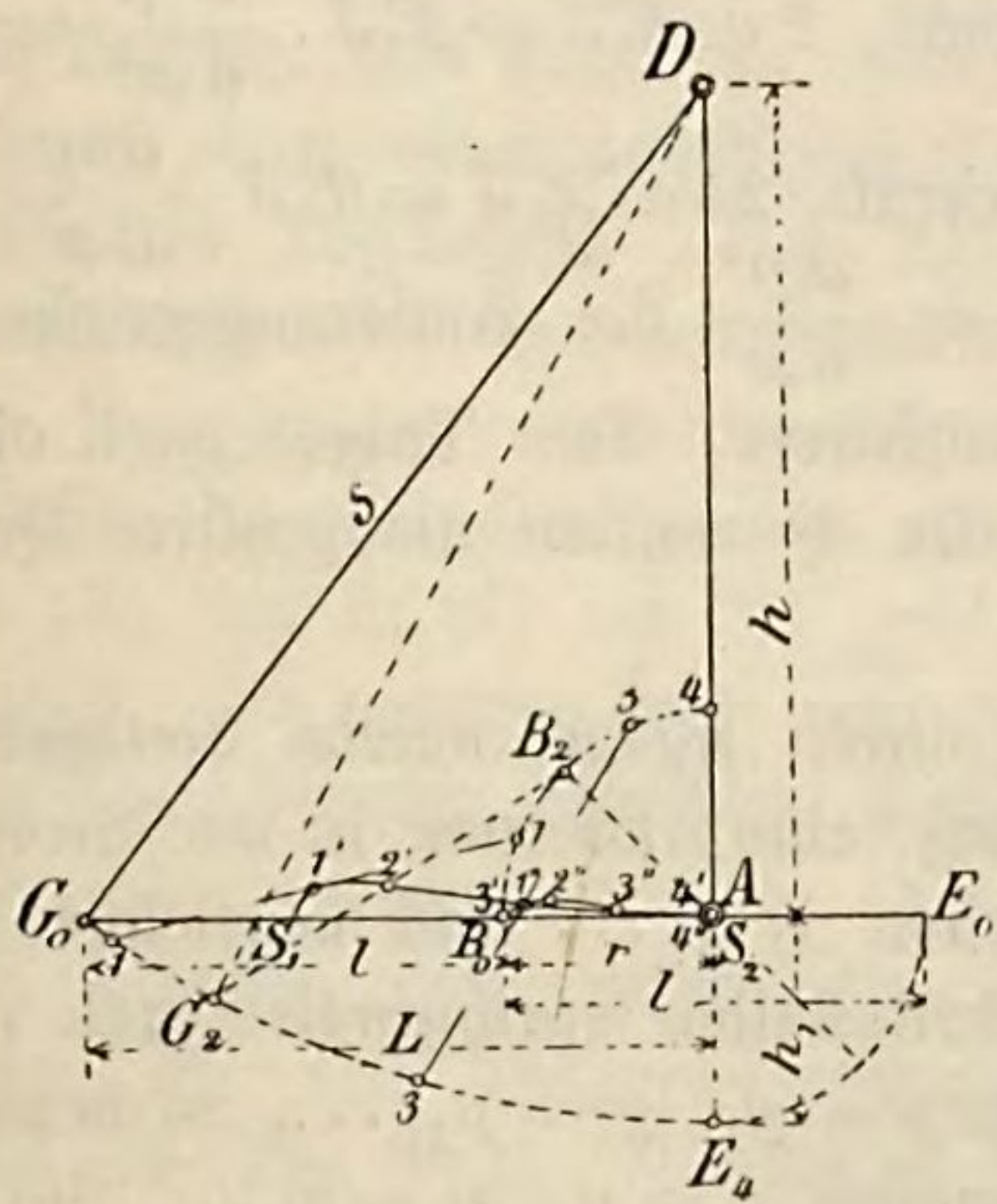


Fig. 93.

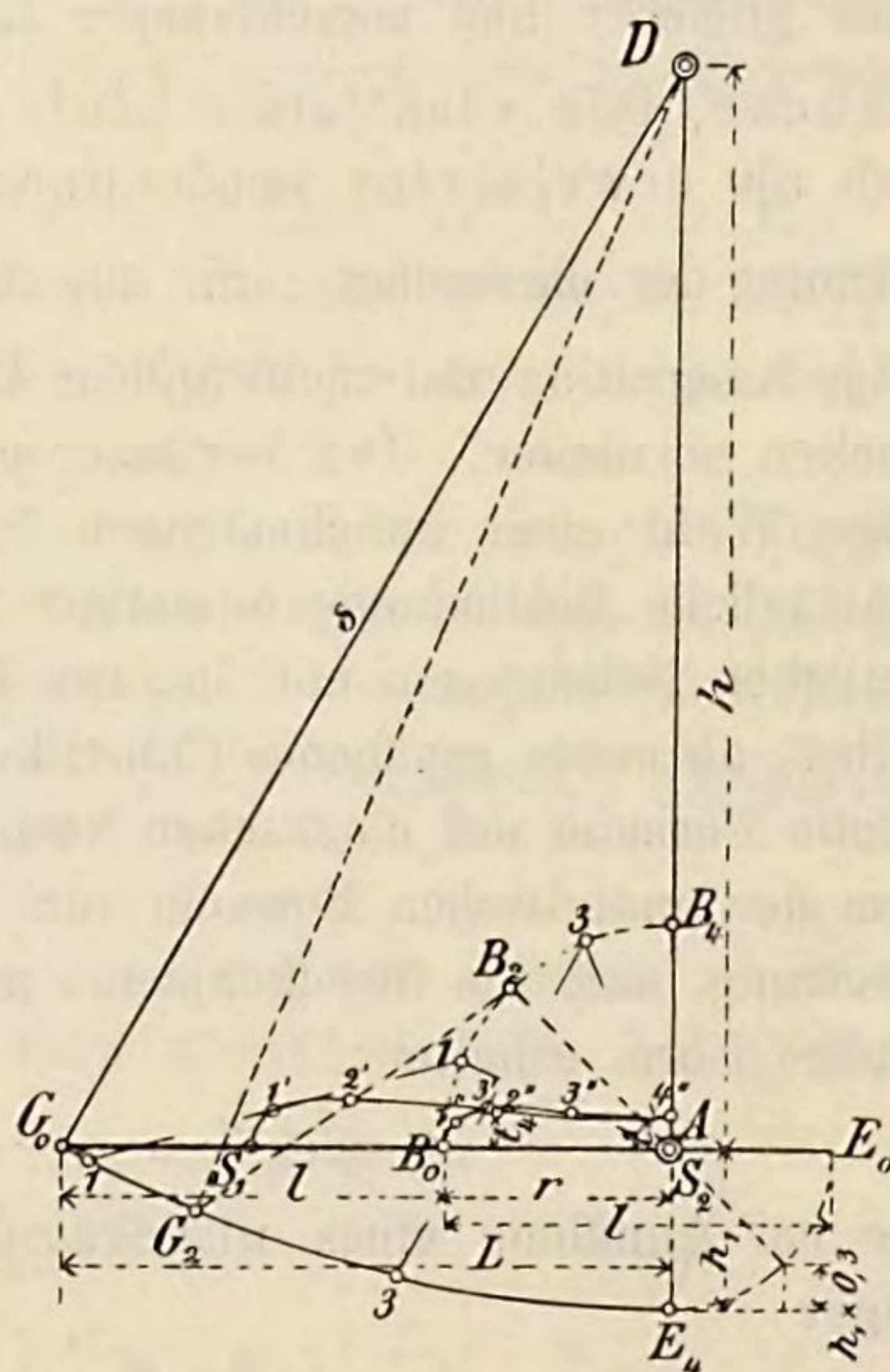
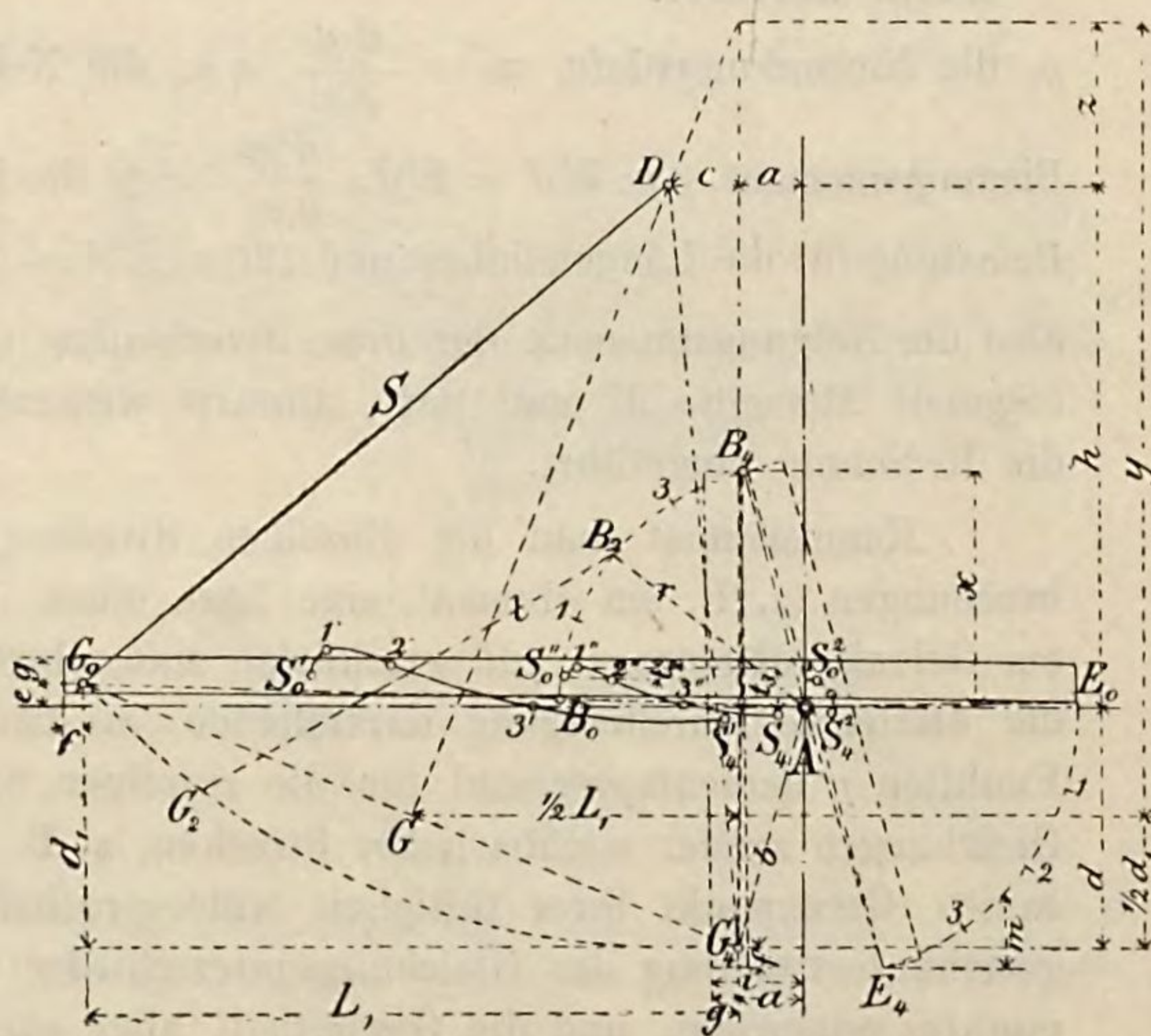


Fig. 95.



Die zwischen diesen Grundmaßen und den übrigen Abmessungen des Bauwerkes erforderlichen Beziehungen werden auf analytischem Wege abgeleitet. Aus dem vom Gesamtschwerpunkt zurückgelegten Weg S_0'' bis S_4'' ersieht man, daß beim Öffnen zuerst die Brücke um den Betrag t_2 gehoben werden muß, dann sich aber von selbst öffnet und dabei um den Betrag t_3 niedersinkt, aber dabei leicht gebremst werden kann, da der Schwerpunkt zuletzt auf eine verhältnismäßig lange Strecke eine nahezu wagrechte Bahnrichtung einschlägt. Das Schließen erfordert (siehe t_3) einen beträchtlichen Kraftaufwand.

22. Th. Landsberg, Klappbrücke über den Chicago-Fluß im Zuge der Van Buren-Straße in Chicago. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 863, mit Abb. und Taf. 18. Der

Verfasser bespricht den Bewegungsvorgang beim Öffnen und Schließen dieser Brücke und zeigt, in welcher Weise die angeordnete Schwerpunktslage des vorderen und hinteren Klappenarmes in Beziehung auf die in wagrechter Ebene sich bewegende Drehaxe ein beim Öffnen der Brücke verlangsamendes Drehmoment hervorruft.

23. L. Geusen, Über einige einfache Beziehungen zwischen den Momenten statisch bestimmter und statisch unbestimmter gerader Träger von konstantem Trägheitsmoment. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1895, S. 403, mit Abb. Von der Grundgleichung über den Kleinstwert der Formänderungsarbeit ausgehend werden unter anderem auch die wichtigsten Bestimmungsgrößen zur Berechnung des durchlaufenden Trägers über 2 Öffnungsfelder (gleicher und verschiedener Länge) gegeben.
24. A. Francke, Die elastische Linie des Balkens. Zeitschr. f. Bauw. 1895, S. 439, mit Abb. (auch als erweiterter Sonderdruck erschienen). Bisher ist es fast ausschließlich üblich, die Gleichung der elastischen Linie aus der bekannten Differentialgleichung $\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M_x}{E \Theta_x}$ durch zweimalige Integration und nachträgliche Bestimmung der Integrationsfestwerte der Grenzen der einzelnen Strecken abzuleiten. Der Verfasser empfiehlt das entgegengesetzte Verfahren und giebt durch vorherige Wahl einer zweckmäßigen Form den analytischen Gleichungen eine Gestalt, welche die nachträgliche Bestimmung derartiger Festwerte entbehrlich macht. Es wird der Balken mit seinen sämtlichen Belastungen und inneren Kräften (Auflagerdrücke werden als negative Einzellasten eingeführt) als etwas gegebenes Einheitliches aufgefaßt und die Abhängigkeit, in welcher je zwei analytische Formeln der elastischen Verhältnisse zweier Nachbarstrecken stehen, von vornherein in der Form der analytischen Formeln zum Ausdruck gebracht. Die Grundgleichung kann unter der Voraussetzung, daß die Streckenlasten ganze algebraische Funktionen der Länge x sind, folgende allgemeine Form erhalten:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + a_5 x^5 \dots$$

oder bei Annahme eines unveränderlichen Trägheitsmomentes für den ganzen betrachteten Träger

$$y = y_0 + \varphi_0 \cdot x + \frac{1}{EJ} \left(-M \frac{x^2}{2} + Q \frac{x^3}{6} + p \frac{x^4}{24} + \frac{dp}{dx} \cdot \frac{x^5}{120} + \dots \right)$$

hierin bedeutet:

y_0 die Einsenkungstiefe, $\varphi_0 = \frac{dy}{dx} = a_1$ die Neigungstangente, $2 a_2 EJ = EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = -M$ das Biegemoment, $6 a_3 EJ = EJ \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} = Q$ die innere Querkraft, $24 a_4 EJ = EJ \cdot \frac{d^4 y}{dx^4} = p$ die Belastung für die Längeneinheit und $120 a_5 EJ = EJ \cdot \frac{d^5 y}{dx^5} = \frac{dp}{dx}$ die Änderungsgröße von p , also die Neigungstangente der diese Streckenlast darstellenden Kurve. Den Träger nach oben hohl biegender Momente M und nach abwärts wirkende Querkräfte Q werden als positive Größen in die Rechnung eingeführt.

Kennzeichnet man die einzelnen Strecken, die also durch irgend welche Stetigkeitsunterbrechungen (z. B. ein Moment, eine Last, einen Auflagerdruck, eine Änderung in der Streckenlast, ein Gelenk) abgegrenzt und geschieden sind, durch die Zeichen I, II... und bezeichnet man die die elastische Durchbiegung darstellende, an den Unstetigkeitsstellen sprunghaft sich ändernde Funktion y dementsprechend für die einzelnen Strecken mit $y = y_I, y = y_{II} \dots$, so müssen je 2 Gleichungen zweier nachbarlicher Strecken, z. B. die Gleichungen $y = y_I, y = y_{II} \dots$ im gemeinsamen Grenzpunkt ihrer Gültigkeit widerspruchsfrei sein. Dies wird erreicht durch einfache allgemeine Festsetzung des Gleichungsunterschiedes: $\Delta y = y_{II} - y_I$, welcher der Unstetigkeit des Grenzpunktes entspricht, und die Gesamtheit aller einzelnen Gleichungen y wird dementsprechend einheitlich als eine bestimmte Gleichungsfolge aufgefaßt, so zwar, daß der auf einer bestimmten, vor dem Unstetigkeitspunkte belegenen Strecke gültigen Gleichung y stets lediglich ein bestimmtes Gleichungsglied Δy hinzuzusetzen ist, um die für die nächste, dem Unstetigkeitspunkte folgende Strecke gültige Gleichung zu erhalten. Man erhält also für den Balken, mit allen Kräften von einem bis zum andern Ende, eine sofort und unvermittelt niederzuschreibende Gleichung, in welcher die Grenzen der Gültigkeit je durch ein Komma gekennzeichnet sind.

Nach dieser sehr übersichtlichen Methode wird der beliebig, stetig oder unstetig belastete Balken mit unveränderlichem und mit sprunghaft veränderlichem Trägheitsmoment, die Stetigkeitsunterbrechung durch Scharniere, das Zusammenfallen verschiedener Ursachen der Un-

stetigkeit an einem und demselben Punkte, der Widerstand der Stützen gegen Drehung und der Balken mit stetig veränderlichem Trägheitsmoment behandelt, wobei zu beachten ist, daß im letzten Fall von der Gleichung $EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = -M_x$ und nicht von der in diesem Fall ungiltigen Gleichung $EJ \cdot \frac{d^4 y}{dx^4} = p$ ausgegangen werden muß.

Ein weiteres Eingehen in diese fruchtbare Methode an dieser Stelle überschreitet den Rahmen vorliegenden Heftes; der folgende Anhang bietet jedoch Gelegenheit, deren Anwendung auf besondere Aufgaben klar zu legen.

25. M. Merriman, The reactions of partially continuous draw bridges. Engineering News 1895 II, S. 150, mit Abb. Der Verfasser giebt Endformeln zur Berechnung verschiedener, in Nordamerika üblicher Typen von Drehbrücken-Hauptträgern (in anderer, wesentlich allgemeiner Weise finden sich dieselben im Anhang entwickelt).

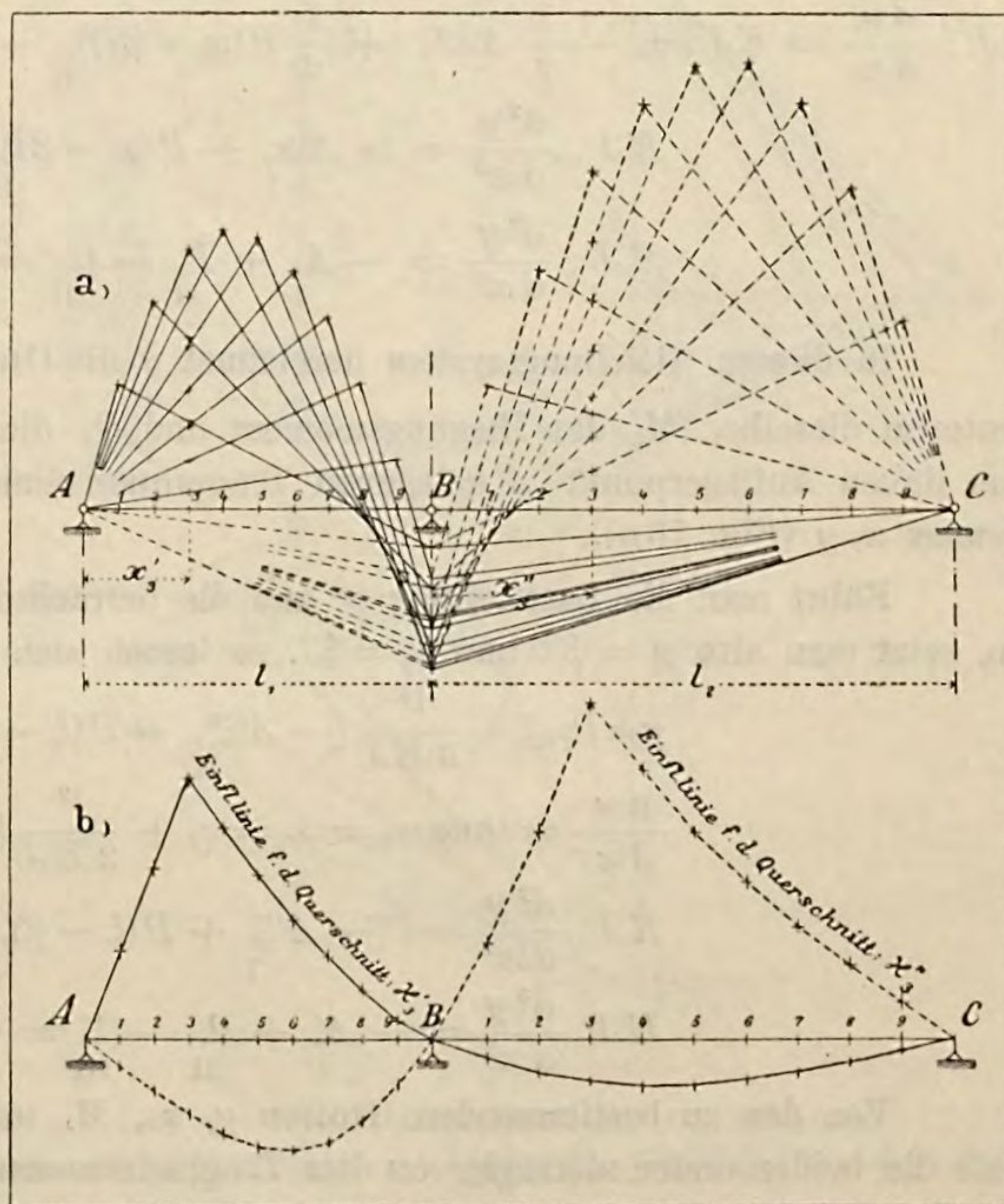
Ebendasselbe von demselben Autor. Railroad Gaz. 1895, S. 585, mit Abb.

M. Merriman, Determining the deflection of swing bridges. Engineering News 1895 II, S. 151, mit Abb. Anwendung der bekannten Mohr'schen Methoden auf einen Fachwerkträger.

26. Whited, The moments of stresses in swing-spans with 4 supports. Engineering News 1895 II, S. 280. Der Verfasser weist nach, daß die im Handbuch von Johnson, Bryan und Turneaure auf S. 194 gegebenen Formeln unrichtig sind. Die Formel muß richtig lauten $M_2 = -Pl^2 \frac{k - k^3}{2(l_1 + 3l_2 + l_3)}$ anstatt $M_2 = -Pl^2 \frac{k - k^3}{2l + 3l_2}$. (Vergleiche Litteraturnachweis: Werke allgemeinen Inhaltes S. 93, No. 2 und S. 104, No. 12.)

27. A. Cart et L. Portes, Calcul des ponts métalliques à poutres droites à une ou plusieurs travées par la méthode des lignes d'influence. Paris 1895, 291 Seiten, mit 2 Tafeln. Das Buch ist mit Rücksicht auf die seit dem 29. August 1891 in Frankreich in Kraft getretene neue Brückenverordnung geschrieben und bezweckt, die Berechnung der durchlaufenden Träger auch bei Belastung durch Einzellastensysteme mit wenig Zeitaufwand durchführen zu können. Die Tabellen sind durchaus unter Voraussetzung eines unveränderlichen Trägheitsmomentes aufgestellt. Bei der ersten überschläglichen Querschnittsbestimmung der Hauptträger ungleicharmiger Drehbrücken können die Tabellen auf S. 115 bis 135 und S. 207 bis 217 gute Dienste leisten. Aus ersteren kann man die unter einer wandernden Einzellast auftretenden Momente zusammentragen (Fig. 96 a) und hieraus unmittelbar die Einflußlinien für alle Trägerquerschnitte aufzeichnen (Fig. 96 b). Hierbei ist der erstgenannte Tabellenteil (Momente) für alle Verhältnisse $\left(\frac{l_1}{l_2}\right) = 0,50$ bis 1,50, um je 0,05 fortschreitend, der zweitgenannte Tabellenteil (Querkkräfte) für $\frac{l_1}{l_2} = 0,50$ bis

Fig. 96.



1,50, um je 0,10 fortschreitend, durchgerechnet. Der Anhang des Buches enthält die Vorschriften vom 29. August 1891 und Ausführungsanweisungen.

28. G. Barkhausen, Klappbrücke mit wagrechtem Schwerpunktswege. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1896, S. 806, mit Abb. Der Verfasser zeigt zuerst die Bestimmung der Leitbahn T (Fig. 67a des vorliegenden Heftes) auf graphischem und analytischem Wege.

IX. Anhang.

Kurze Entwicklung einiger einfacher Formeln für den durchlaufenden Träger (mit Bezug auf dessen Anwendung bei beweglichen Brücken) auf einheitlicher Grundlage (Francke'sche Gleichung).

A. Unveränderliches Trägheitsmoment J .

1. Der über 2 ungleich lange Öffnungsfelder l und nl durchlaufende Träger $A C B$ (Fig. 76 a).

a) Die Stützen A, C, B liegen in einer Geraden.

Bezeichnet man mit E die Elastizitätsziffer, mit P die wandernde Einzellast und mit A, C, B die durch diese Einzellast hervorgerufenen Stützenwiderstände, führt man ferner nach abwärts gerichtete Lasten (die Stützenwiderstände hierbei als negative Lasten eingeführt), sowie den Balken nach oben hohl krümmende Bieugungsmomente positiv in die Rechnung ein, so kann man nach Francke³³⁾ unvermittelt für die in Fig. 76 a dargestellte Laststellung P im Öffnungsfeld AC folgende Grundgleichung 1 anschreiben, wobei die Gültigkeitsgrenzen für die einzelnen Strecken I, II... derselben je durch ein Komma gekennzeichnet werden:

$$EJ \cdot y = EJ \cdot \varphi_a x - \frac{1}{6} A x_I^3 + \frac{1}{6} P (x - \beta l)_{II}^3 - \frac{1}{6} C (x - l)_{III}^3 \quad . \quad . \quad . \quad 1.$$

aus der durch fortgesetzte Differentiation die folgenden 3 Gleichungen erhalten werden:

$$EJ \cdot \frac{dy}{dx} = EJ \cdot \varphi_a - \frac{1}{2} A x_I^2 + \frac{1}{2} P (x - \beta l)_{II}^2 - \frac{1}{2} C (x - l)_{III}^2 = EJ \cdot \tan \varphi_x = EJ \cdot \varphi_x \quad . \quad 2.$$

$$EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = - A x_I + P (x - \beta l)_{II} - C (x - l)_{III} = - M_x \quad . \quad . \quad . \quad 3.$$

$$EJ \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} = - A_I + P_{II} - C_{III} = + Q_x \quad . \quad . \quad . \quad 4.$$

In diesem Gleichungssystem bezeichnet y die Ordinate der elastischen Linie, $\frac{dy}{dx} = \varphi_x$ die Tangente an dieselbe, M_x das Bieugungsmoment und Q_x die innere Querkraft an einem in der Entfernung x vom linken Auflagerpunkt A gelegenen Trägerquerschnitt. A ist auch der Ursprung des Koordinatensystems x, y (Fig. 76 a).

Führt man die Laststellung p und die betrachtete Trägerstelle x als Bruchteile der Stützweite l ein, setzt man also $p = \beta l$ und $x = \xi l$, so lassen sich die Gleichungen 1 bis 4 wie folgt umformen:

$$y = l \varphi_a \xi + \frac{l^3}{6 EJ} [- A \xi_I^3 + P (\xi - \beta)_{II}^3 - C (\xi - 1)_{III}^3] \quad . \quad . \quad . \quad 1^a.$$

$$\frac{dy}{dx} = \tan \varphi_x = \varphi_x = \varphi_a + \frac{l^2}{2 EJ} [- A \xi_I^2 + P (\xi - \beta)_{II}^2 - C (\xi - 1)_{III}^2] \quad . \quad 2^a.$$

$$EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = l [- A \xi_I + P (\xi - \beta)_{II} - C (\xi - 1)_{III}] = - M_x \quad . \quad . \quad . \quad 3^a.$$

$$EJ \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} = - A_I + P_{II} - C_{III} = + Q_x \quad . \quad . \quad . \quad 4^a.$$

Von den zu bestimmenden Größen y, φ_x, M_x und Q_x sind unter den gemachten Voraussetzungen bloß die beiden ersten abhängig von dem Trägheitsmoment J und der Elastizitätsziffer E ; sie sollen deshalb der Kürze wegen die elastischen, und die hiervon unabhängigen Größen M_x und Q_x die statischen Größen genannt werden.

Da nach der Annahme, mit Bezug auf Fig. 76 a, $-c = +b = 0$ zu setzen ist, so ergeben sich für die zunächst unbekannten Größen φ_a, A und C die Bedingungen $[y]_{\xi=1} = 0, [\varphi]_{\xi=n+1} = 0$ und da der Träger bei B frei drehbar aufgelagert ist, $\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{\xi=n+1} = 0$. Die letzte Bedingung liefert unmittelbar die Gleich-

³³⁾ Siehe Litteraturnachweis, theoretische Untersuchungen betreffend, No. 24.

Diese η_x Linie ist zugleich die Einflußlinie für die Einbiegung am Punkt C des auf den Stützen A und B frei aufgelagerten Trägers von der Stützweite $l(n+1)$, hervorgerufen durch die wandernde Einzellast P , wenn $C = P$, mithin $c = \frac{n^2 l^3}{n+1} \cdot \frac{P}{3 EJ}$ gewählt wird. Für $n = 1$ und $L = l(n+1) = 2l$ erhält man den bekannten Wert $c = \frac{L^3}{48 EJ} \cdot P$.³⁴⁾

2. Der durchlaufende Träger über 3 Stützen mit überhängendem Ende und ungleicher Höhenlage der ersteren (vergl. Fig. 97).

Wird der ursprünglich wagrecht aufgelagerte Balken an seinem überhängenden Ende mit der Einzellast P belastet, die Stütze B um den Betrag $+b$ gesenkt und gleichzeitig die Stütze C um den Betrag $-c$ gehoben, so lautet die Ausgangsgleichung:

$$EJ y = EJ \varphi_a x - \frac{1}{6} A x^3 - \frac{1}{6} C (x-l)^3, \dots 22.$$

Die Bedingungen zur Bestimmung der 3 Unbekannten φ_a , A und C heißen: $[y] = -c$ (hieraus findet sich φ_a),

ferner $[y] = +b$ und $\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right] = +Pm$.

Schließlich ergeben sich die Auflagerkräfte A und C aus den Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{1}{2n(n+1)} \left[Pm n^2 - \frac{6 EJ [b + c(n+1)]}{l^3} \right] \\ C &= -\frac{1}{n} [A(n+1) + Pm] \end{aligned} \right\} \dots 23.$$

Führt man die so gefundenen Werte von A und C in die Gleichung 22 ein, so kann man unmittelbar den Verlauf der elastischen Linie (Fig. 97 b) angeben, sowie für jeden beliebigen Querschnitt durch fortgesetzte Differentiation mit Beachtung der entsprechenden Grenzen die Tangentenlage, das Moment und die Querkraft ermitteln.

3. Der durchlaufende Träger über 3 ungleiche Öffnungsfelder (l , ln und lm); die Stützen liegen in einer Geraden.

a) Last P in dem Öffnungsfeld AC . Hierfür ergibt sich unmittelbar die Grundgleichung:

$$\left. \begin{aligned} EJ y &= EJ \varphi_a x - \frac{1}{6} A x^3 + \frac{1}{6} P (x-l)^3 - \frac{1}{6} C (x-l)^3 - \frac{1}{6} D [x-(n+1)l]^3 \end{aligned} \right\} \dots 24.$$

Zur Ermittlung der 4 Unbekannten φ_a , A , C und D bestehen die Bedingungen:

$$[y]_{x=l} = [y]_{x=l(n+1)} = [y]_{x=l(1+n+m)} = 0$$

$$\text{und } \left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{x=l(1+n+m)} = 0;$$

führt man die Abscisse x der betrachteten Trägerstelle und die Entfernung AP als Bruchteile der Stützweite l ein, setzt man also

$AP = l\beta$ und $x = \xi l$, d. h. $\xi = \frac{x}{l}$, so läßt sich die Gleichung 24 auch schreiben:

$$6 EJ y = 6 EJ \varphi_a \cdot \xi l - [A \xi^3 - P (\xi - \beta)^3 + C (\xi - 1)^3 + D (\xi - n - 1)^3] l^3 \dots 24^a.$$

$$\text{hieraus: } \frac{dy}{dx} = \varphi_a - \frac{l^2}{2 EJ} [A \xi^2 - P (\xi - \beta)^2 + C (\xi - 1)^2 + D (\xi - n - 1)^2] = \varphi_x \dots 25.$$

$$EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = -l [A \xi - P (\xi - \beta) + C (\xi - 1) + D (\xi - n - 1)] = -M_x \dots 26.$$

$$EJ \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} = -A + P - C - D = +Q_x \dots 27.$$

Fig. 97.

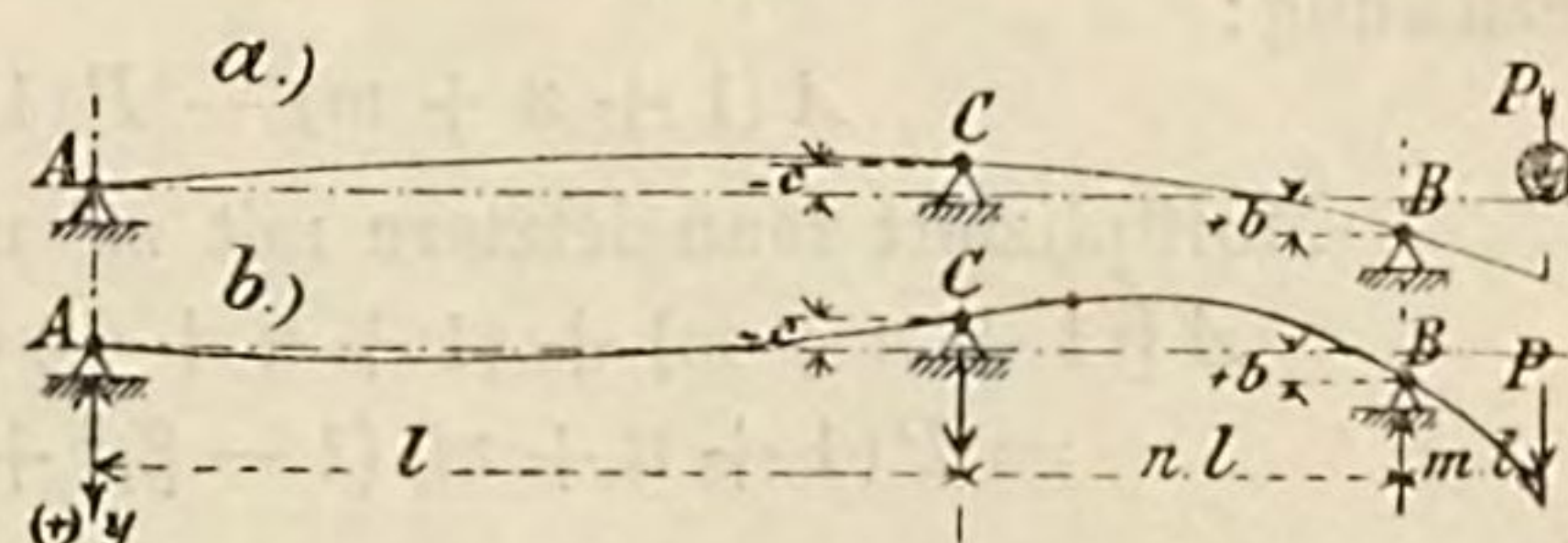
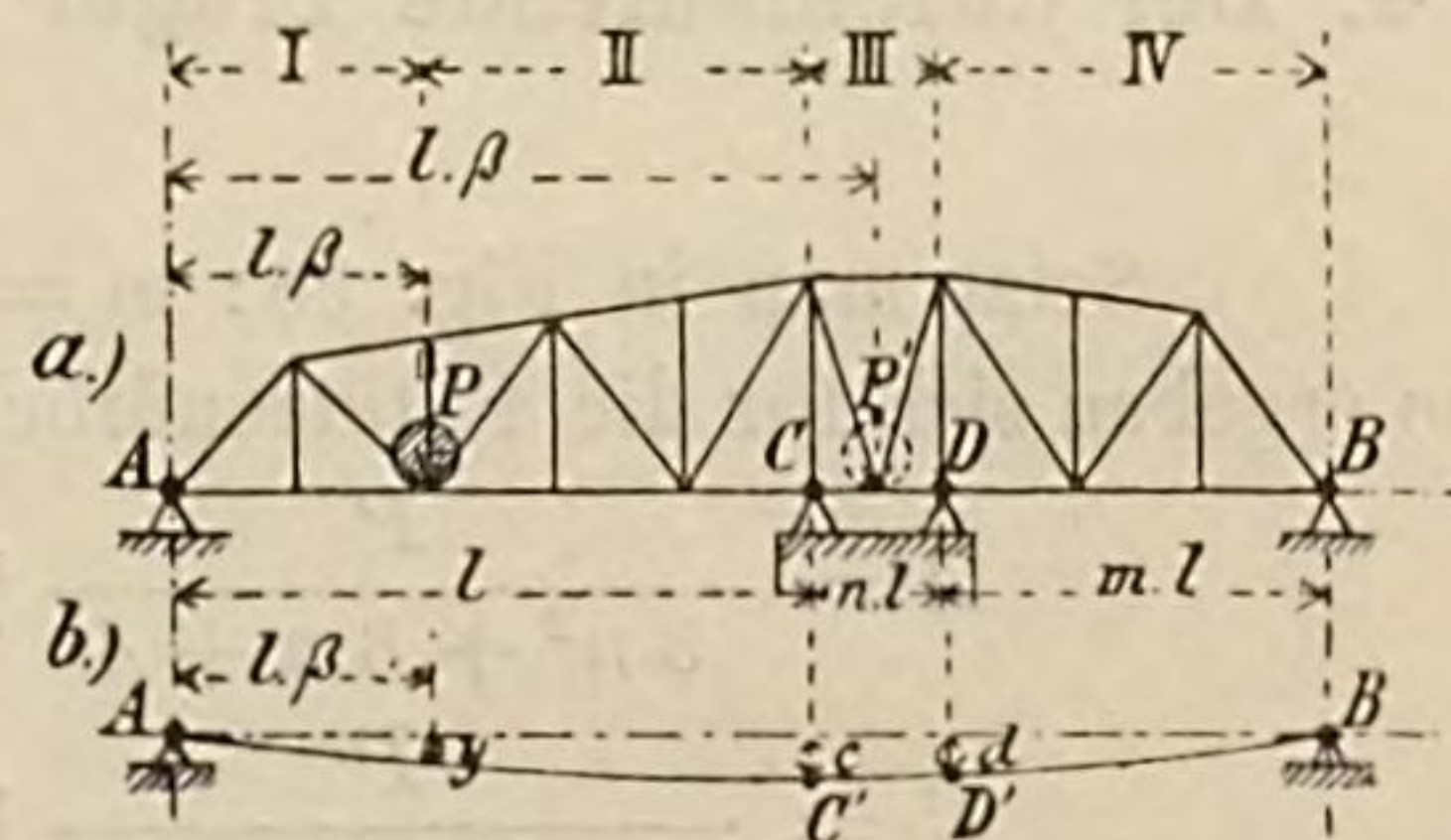


Fig. 98.



³⁴⁾ „Hütte“, Taschenbuch des Ingenieurs, 1893 I, S. 333.

Da für $\xi = 1$, $y = 0$ wird:

$$6 E J \varphi_a = l^2 A - P(1 - \beta)^3 l^2 \quad 28.$$

Dieser Wert von $6 E J \varphi_a$, in Gleichung 24^a eingesetzt, giebt für die Bedingung, daß für $\xi = n + 1$, $y = 0$ sein muß:

$$A(n^3 + 3n^2 + 2n) + Cn^3 = P[(n + 1 - \beta)^3 - (n + 1)(1 - \beta)^3]$$

oder

$$A a_1 - C c_1 = P p_1, \quad 29.$$

wenn zur Abkürzung: $n^3 + 3n^2 + 2n = (n + 1)(n + 2)n = a_1$; $n^3 = c_1$ und

$$[(n + 1 - \beta)^3 - (n + 1)(1 - \beta)^3] = p_1 \text{ gesetzt wird.}$$

Die weitere Bedingung, daß für $\xi = 1 + n + m$, $y = 0$ wird, giebt die Gleichung:

$$\left. \begin{aligned} A(1 + n + m) - P(1 + n + m)(1 - \beta)^3 - A(1 + n + m)^3 \\ + P(1 + n + m - \beta)^3 - C(m + n)^3 - Dm^3 = 0 \end{aligned} \right\} \quad 30.$$

und die Bedingung, daß für $\xi = 1 + n + m$, $EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = 0$ sein muß, nach Gleichung 26 die weitere Beziehung:

$$A(1 + n + m) - P(1 + n + m - \beta) + C(n + m) + Dm = 0 \quad 31.$$

Multipliziert man letztere mit m^2 und addiert sie zu Gleichung 30, so ergibt sich

$$\begin{aligned} A[(1 + n + m) + (1 + n + m)m^2 - (1 + n + m)^3] + C[m^2(n + m) - (n + m)^3] \\ = P(1 + n + m)(1 - \beta)^3 + (1 + n + m - \beta)m^2 - (1 + n + m - \beta)^3 \end{aligned}$$

oder:

$$A a_2 + C c_2 = P p_2, \quad 32.$$

wenn man zur Abkürzung: $[(1 + n + m) + (1 + n + m)m^2 - (1 + n + m)^3] = a_2$;

$[m^2(n + m) - (n + m)^3] = c_2$ und $[(1 + n + m)(1 - \beta)^3 + (1 + n + m - \beta)m^2 - (1 + n + m - \beta)^3] = p_2$ setzt.

Aus den Gleichungen 29 und 32 ergeben sich die gesuchten Auflagerkräfte A und C :

$$A = \frac{c_2 p_1 - c_1 p_2}{a_1 c_2 - a_2 c_1} \quad \text{und} \quad C = \frac{a_1 p_2 - a_2 p_1}{a_1 c_2 - a_2 c_1} \quad 33.$$

Hierauf lassen sich die noch fehlenden Stützendrücke D und B aus den Gleichungen 30 und 27 berechnen.

Sind die Werte von A , C und D derart gefunden, so können mittels der Gleichungen 24^a bis 28 für jeden beliebigen Querschnitt, der innerhalb der Öffnung AC liegt, die statischen und elastischen Größen unmittelbar berechnet werden.

β) Last P im Öffnungsfeld CD (Fig. 98). Auf diesen Belastungsfall soll nicht näher eingegangen werden, weil die Fachquerträger C und D fast stets durch einen Längsträger derart verbunden sind, daß nur Knotenlasten bei C und D auftreten, die unmittelbar von den Auflagern aufgenommen werden. Die Ausgangsgleichung hierfür würde lauten:

$$E J y = E J \varphi_a x - \frac{1}{6} A x_{\text{I}}^3 - \frac{1}{6} C (x - l)_{\text{II}}^3 + \frac{1}{6} P (x - l\beta)_{\text{III}}^3 - \frac{1}{6} D [x - (n + 1)l]_{\text{IV}}^3, \quad . . 34.$$

4. Der durchlaufende Träger über 3 Öffnungsfelder mit gleich großen Außenöffnungen. Last P im Fach AC .

Setzt man in Fig. 98: $m = 1$ und ändert dementsprechend die Werte der Gleichungen 29 und 31, so ergeben sich für die 4 Stützendrücke nach entsprechenden Umformungen schließlich folgende Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{P}{3n^2 + 8n + 4} [3n^2 + 8n + 4 - \beta(3n^2 + 10n + 6) + \beta^3(n + 1)2] \\ C &= \frac{P}{(3n^2 + 8n + 4)n} [\beta(3n^3 + 10n^2 + 9n + 2) - \beta^3(2n^2 + 5n + 2)] \\ D &= \frac{P}{(3n^2 + 8n + 4)n} (n^2 + 3n + 2)(\beta^3 - \beta) \\ B &= \frac{P}{3n^2 + 8n + 4} (\beta - \beta^3)n \end{aligned} \right\} \quad . . . 35.$$

Addiert man diese 4 Gleichungen, so muß der Gleichung 27 Genüge geleistet werden, d. h. es muß deren Summe P ergeben.

Ferner findet sich für $\beta = 0$; $A = P$, $C = D = B = 0$, und für $\beta = 1$, $A = 0$, $C = P$, $D = B = 0$.

Beispiele:

a) Es sollen für eine 94,35 m lange ungleicharmige Drehbrücke, deren Außenöffnungen $l = 55,50$ und $ml = 33,30$ m, deren Pfeilerfach $nl = 5,55$ m ist, wenn die Einzellast P in der Entfernung

$x = 27,75 \text{ m}$ vom Auflagerpunkte des linken, langen Armes steht, folgende Größen berechnet werden: Sämtliche Auflagerdrücke, die Einbiegung an der Laststelle und die Tangenten an die elastische Linie bei sämtlichen Auflagerpunkten.

Die nur einmal zu berechnenden Formgrößen a_1 , a_2 , c_1 und c_2 finden sich, da $n = 0,1$, $m = 0,6$ und $\beta = 0,5$ einzuführen ist:

$$a_1 = 1,1 \cdot 2,1 \cdot 0,1 = 0,2310; \quad a_2 = [(1 + 0,1 + 0,6) + 1,7 \cdot 0,6^2 - 1,7^3] = -2,6010;$$

$$c_1 = 0,1^3 = 0,001; \quad c_2 = 0,6^2 (0,1 + 0,6) - (0,1 + 0,6)^3 = -0,0910,$$

und die Belastungsgrößen p_1 und p_2 :

$$p_1 = (1,1 - \beta)^3 - 1,1 (1 - \beta)^3 = (1,1 - 0,5)^3 - 1,1 (1 - 0,5)^3 = 0,0785$$

und:

$$p_2 = 1,7 (1 - \beta)^3 + (1,7 - \beta) 0,6^2 - (1,7 - \beta)^3 = -1,0835.$$

In den letzteren Gleichungen ändert sich bei dem gegebenen Längenverhältnis der Öffnungsfelder mit dem Fortschreiten der Last P der Wert von β allein.

Führt man diese Werte in die Gleichungen 33 ein, so findet man $A = \frac{-6,060}{-18,42} = +0,329 P$; $C = \frac{-46,11}{-18,42} = +2,503 P$; aus Gleichung 31: $D \cdot 0,6 = P (-0,329 \cdot 1,7 + (1,7 - 0,5) - 2,503 \cdot 0,7)$ oder $D = -1,852 P$ und aus Gleichung 27: $B = P (1 - 0,329 - 2,503 + 1,852) = +0,020 P$.

Die Einbiegung an der Laststelle findet sich, da nach Gleichung 28: $6 E J \varphi_a = l^2 [0,329 - (1 - 0,5)^3] P = P l^2 \cdot 0,204$, aus der Gleichung 24^a: $y = \frac{P l^3}{6 E J} \cdot [0,5 \cdot 0,204 - 0,329 \cdot 0,5^3] = \frac{P l^3}{E J 6} \cdot 0,0609$, wobei $l = 55,5 \text{ m}$ zu setzen ist, und schließlich die Tangenten an die elastische Linie an den Auflagerpunkten aus der Gleichung 25, da $\varphi_a = + \frac{P l^2}{6 E J} 0,204$ gefunden wurde:

für $\xi = 1$; $\beta = 0,5$:

$$\varphi_c = \varphi_a - \frac{P l^2}{2 E J} [0,329 \cdot 1^2 - (1 - 0,5)^2] = \frac{P l^2}{6 E J} [0,204 - 3(0,329 - 0,250)] = - \frac{P l^2}{E J} 0,00550;$$

für $\xi = (1 + n) = 1,1$; $\beta = 0,5$:

$$\varphi_d = \frac{P l^2}{6 E J} \{0,204 - 3 [0,329 \cdot 1,1^2 - (1,1 - 0,5)^2 + 2,503 (1,1 - 1)^2]\} = + \frac{P l^2}{E J} 0,1102;$$

für $\xi = (1 + n + m) = 1,7$; $\beta = 0,5$:

$$\varphi_b = \frac{P l^2}{6 E J} \{0,204 - 3 [0,329 \cdot 1,7^2 - (1,7 - 0,5)^2 + 2,503 (1,7 - 1)^2 - 1,852 (1,7 - 1,1)^2]\} = - \frac{P l^2}{E J} 0,00105.$$

Bezüglich der Vorzeichen vergleiche Fig. 76 a.

b) Es sollen für eine gleicharmige Drehbrücke von $94,5 \text{ m}$ Länge, deren jede Außenöffnung $l = 45 \text{ m}$ und deren Mittelöffnung $l n = 4,50 \text{ m}$ lang, die Auflagerkräfte bestimmt werden, wenn die Einzelast P in der Mitte der linken Außenöffnung steht.

Da $n = 0,1$ und $\beta = 0,5$, so finden sich aus den Gleichungen 35:

$$A = \frac{P}{0,03 + 0,8 + 4} [4,83 - \beta \cdot 7,03 + \beta^3 \cdot 2,2] = +0,329 P;$$

$$C = \frac{P}{0,483} [\beta \cdot 3,003 - \beta^3 \cdot 2,52] = +2,457 P;$$

$$D = \frac{P}{4,83} (0,125 - 0,5) 2,31 = -1,794 P$$

$$\text{und:} \quad B = \frac{P}{4,83} (\beta - \beta^3) 0,1 = +0,008 P.$$

(Prüfung: $P = A + C + D + B$.)

Sind diese Größen gefunden, so können mittels der Gleichungen 24^a bis 28 an jeder beliebigen Stelle des Trägers AB die statischen und elastischen Größen für diese Laststellung rasch berechnet werden.

5. Durchlaufender, symmetrischer Träger über 4 in einer Geraden liegenden Stützpunkte, dessen Pfeilerfach CD ein Querkraft-Nullfeld ist (amerikanische Drehbrücken). (Fig. 98.)

Die Last bewege sich innerhalb der Außenöffnung AC . Da der Voraussetzung gemäß $m = 1$ ist, lautet die Grundgleichung:

$$E J y = E J \varphi_a \cdot \xi l - \frac{1}{6} l^3 [A \xi^3 - P (\xi - \beta)^3 + C (\xi - 1)^3 + D (\xi - n - 1)^3] \dots \dots \dots 36.$$

Die Bedingungsgleichungen sind: $[y]_{\xi=1} = [y]_{\xi=n+1} = [y]_{\xi=n+2} = 0$. Die Bedingung für das Querkraft-Nullfeld ist gegeben durch: $\left[E J \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} \right]_{\xi=1} = \left[E J \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} \right]_{\xi=n+1}$; hieraus folgt, daß $A + C = P$ sein muß.

Nach Durchführung der Rechnung erhält man schließlich zur Bestimmung der Stützendrücke die Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{P}{4 + 6n} [4 + 6n - (5 + 6n)\beta + \beta^3] \\ C &= P - A \\ -D &= +B = \frac{P}{4 + 6n} (\beta - \beta^3) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 37.$$

Beispiel. Die Stützendrücke für das auf S. 115 behandelte Beispiel *b* sollen unter der Voraussetzung, das Pfeilerfach sei ein Querkraft-Nullfeld, bestimmt werden.

Nach Gleichung 37 erhält man:

$$A = \frac{P}{4,6} [4,6 - 5,6\beta + \beta^3] = 0,418 P; C = 0,582 P; D = -B = -0,082 P.$$

Ein Vergleich der zuletzt gefundenen Stützendrücke mit den früher gefundenen zeigt, wie sehr durch die Anordnung des Querkraft-Nullfeldes über dem Pfeilerfach das Bestreben des Trägerpunktes *D* sich von dem Auflager daselbst abzuheben herabgemindert wurde. Aus der letzten der Gleichungen 37 geht ohne weiteres hervor, daß angenähert für $\beta = 0,6$ dieser Auftrieb *D* seinen größten Wert erreicht und zwar $\div - \frac{P}{4,6} 0,384 = -0,083 P$ wird. Es ist daher, wenn die Auflagerung über dem Pfeiler mittels eines Rollenkranzes erfolgt, die Anordnung des Querkraft-Nullfeldes das beste Mittel, die durch Verkehrslast hervorgerufenen Pfeilerstützendrücke auf das kleinste Maß zu bringen.

Alle übrigen statischen und elastischen Werte lassen sich nun für diese Trägeranordnung sehr einfach aus der Gleichung 36 ableiten.

6. Symmetrischer, gleicharmiger, über 4 Stützen durchlaufender Träger mit Gelenkpunkt in der Mitte des Trägersystemes. (Die Auflager jedes Hauptträgers liegen in einer Geraden.)

1. Belastungsfall. Die Last *P* steht innerhalb der Außenöffnung *AB*. Die Grundgleichung lautet:

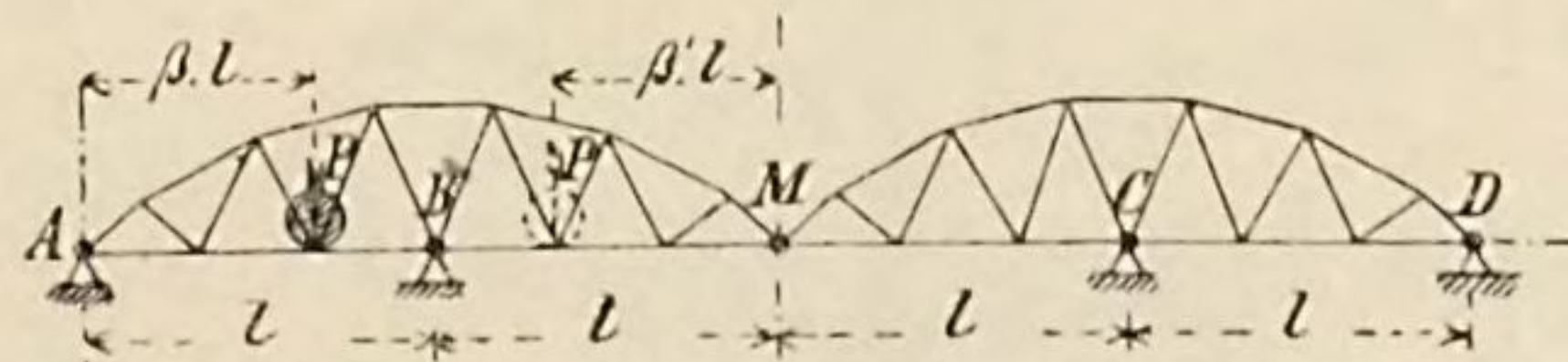
$$E J y = E J \varphi_a \xi l - \frac{1}{6} l^3 [A \xi_P^3 - P(\xi - \beta)_B^3 + B(\xi - 1)_M^3] + \mu(\xi - 2)_C l - \frac{1}{6} C l^3 (\xi - 3)_D^3, \dots 38.$$

Die Gültigkeitsgrenzen sind durch *P*, *B*...*D* bezeichnet, und μ bedeutet den Unterschied der Neigungstangenten der beiden durch das Gelenk *M* verbundenen Innenöffnungen.³⁵⁾

Die Bedingungen $[y]_{\xi=1} = [y]_{\xi=3} = [y]_{\xi=4} = 0$, sowie $\left[E J \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} \right]_{\xi=2} = \left[E J \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} \right]_{\xi=4} = 0$ genügen zur

Bestimmung der 4 Unbekannten φ_a , *A*, *B* und *C*, und man erhält schließlich die Auflagerkräfte aus den Gleichungen:

Fig. 99.



$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{1}{8} (8 - 9\beta + \beta^3) P \\ B &= \frac{1}{8} (10\beta - 2\beta^3) P \\ C &= -\frac{1}{4} (\beta - \beta^3) \cdot P = -2D \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 39.$$

für $\beta = 0$ wird $A = P$; $B = C = D = 0$;

für $\beta = 1$ wird $A = C = D = 0$ und $B = P$.

2. Belastungsfall. Die Last *P* steht innerhalb der Innenöffnung *BM*. Aus der Grundgleichung:

$$\left. \begin{aligned} E J y &= E J \varphi_a \xi l + \frac{l^3}{6} [-A \xi_B^3 - B(\xi - 1)_P^3 + P(\xi - 2 + \beta')_M^3] \\ &+ \mu(\xi - 2)_C l - \frac{l^3}{6} C(\xi - 3)_D^3 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 40.$$

³⁵⁾ A. Francke, Die elastische Linie des Balkens, S. 11 (Sonderdruck).

ergibt sich in Verbindung mit den oben gegebenen 4 Bedingungsgleichungen, wenn $\beta'' = 1 - \beta'$ gesetzt wird (vergl. Fig. 99):

$$\left. \begin{aligned} A &= -\frac{1}{8} (6\beta'' - 3\beta''^2 + \beta''^3) P \\ B &= +\frac{1}{4} (4 + 2\beta'' - 3\beta''^2 + \beta''^3) P \\ C &= +\frac{1}{4} (2\beta'' + 3\beta''^2 - \beta''^3) P = -2D \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 41.$$

Für $\beta'' = 0$ wird $A = C = D = 0$ und $B = P$; und für $\beta'' = 1$ wird $A = D = -\frac{1}{2} P$ und $B = C = P$.

Beispiel. Für eine Doppeldrehbrücke von 60 m Trägerlänge, deren 1. Träger AM wagrecht und deren 2. Träger MD um 5% geneigt aufgelagert sei, sollen für die Laststellung $\beta'' = 0,5$, die Einbiegung am Gelenk M und die Tangente an die elastische Linie bei dem Pfeiler C bestimmt werden.

Für $\beta'' = 0,5$ ergeben die Gleichungen 41 die Stützendrücke $A = -0,297 P$; $B = +1,094 P$; $C = +0,406 P$ und $D = -0,203 P$.

Die Bedingung $[y]_{\xi=1} = 0$ liefert in Verbindung mit der Gleichung 40 aus:

$$0 = EJ \varphi_a l \xi - \frac{1}{6} l^3 A \xi^3$$

den Wert von: $\varphi_a = -\frac{l^2}{6 EJ} 0,297 P = -\frac{l^2}{2 EJ} 0,099 P$

und die gesuchte Einbiegung am Gelenkpunkt für diesen Belastungsfall ergibt sich nun, da $\xi = 2$ und $\beta' = \beta'' = 0,5$, aus der Gleichung:

$$y = \frac{l^3 P}{6 EJ} [-0,297 \cdot 2 + 0,297 \cdot 2^3 - 1,094 \cdot (2 - 1)^3 + (2 - 2 + 0,5)^3] = +\frac{l^3 P}{6 EJ} 0,813.$$

Nach der gemachten Annahme ist $\mu = 0,05$, mithin erhält man aus Gleichung 40 für $\xi = 3$ die gesuchte Tangente φ_c :

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} = \varphi_c &= \frac{l^2 P}{2 EJ} [-0,099 + 0,297 \cdot 3^2 - 1,094 (3 - 1)^2 + (3 - 2 + 0,5)^2] \\ &\pm 0,05 = \frac{l^2 P}{2 EJ} 0,448 \pm 0,05, \end{aligned}$$

wobei im letzten Glied das $\pm$ Vorzeichen zu nehmen ist, je nachdem der 2. Träger fallend oder steigend gelagert ist.

7. Symmetrischer, über 6 Stützen durchlaufender Träger mit Gelenkpunkt in der Mitte, und Querkraft-Nullfeldern über den Pfeilerfächen. (Die Auflager jedes Hauptträgers AM , bzw. MG liegen in einer Geraden.)

1. Belastungsfall. Die Last P steht innerhalb der Außenöffnung AB . Aus der Ausgangsgleichung:

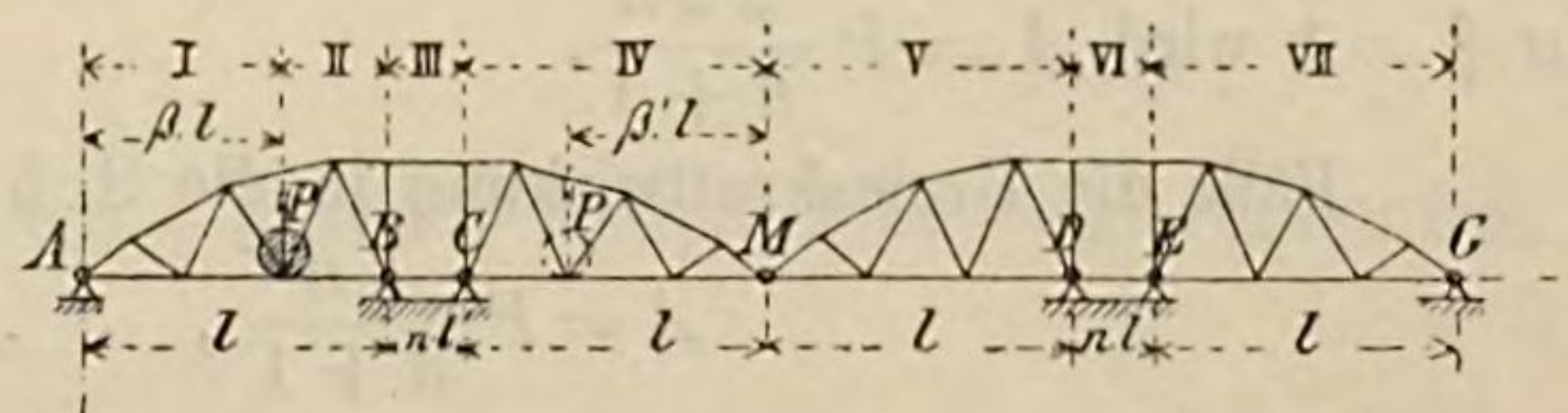
$$\left. \begin{aligned} EJ y &= EJ \varphi_a \xi l + \frac{l^3}{6} [-A \xi^3 + P (\xi - \beta)^3 - B (\xi - 1)^3 - C (\xi - n - 1)^3] \\ &+ \mu (\xi - n - 2) l + \frac{l^3}{6} [-D (\xi - n - 3)^3 - E (\xi - m - 3)^3] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 42.$$

erhält man, da für $[y]_{\xi=1} = [y]_{\xi=n+1} = [y]_{\xi=n+3} = [y]_{\xi=2n+3} = [y]_{\xi=2n+4} = 0$ und:

$$\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{\xi=1} = \left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{\xi=n+1}$$

sowie: $\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{\xi=n+3} = \left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{\xi=2n+3}$

Fig. 100.



sein muß, die Stützendrücke aus den Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{P}{8 + 12n} [8 + 12n - (9 + 12n)\beta + \beta^3] \\ B &= P - A \\ C &= G = P\beta - A = -D = -E \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 43.$$

2. Belastungsfall. Die Last P steht innerhalb der Innenöffnung CM . Hierfür:

$$EJy = EJ\varphi_a \cdot \xi l + \frac{l^3}{6} \left[-A \xi_B^3 - B (\xi - 1)_C^3 - C (\xi - n - 1)_P^3 + P (\xi - n - 2 + \beta')_M^3 \right] + \mu (\xi - n - 2)_D^3 + \frac{l^3}{6} \left[-D (\xi - n - 3)_E^3 - E (\xi - 2n - 3)_G^3 \right] \quad \dots 44.$$

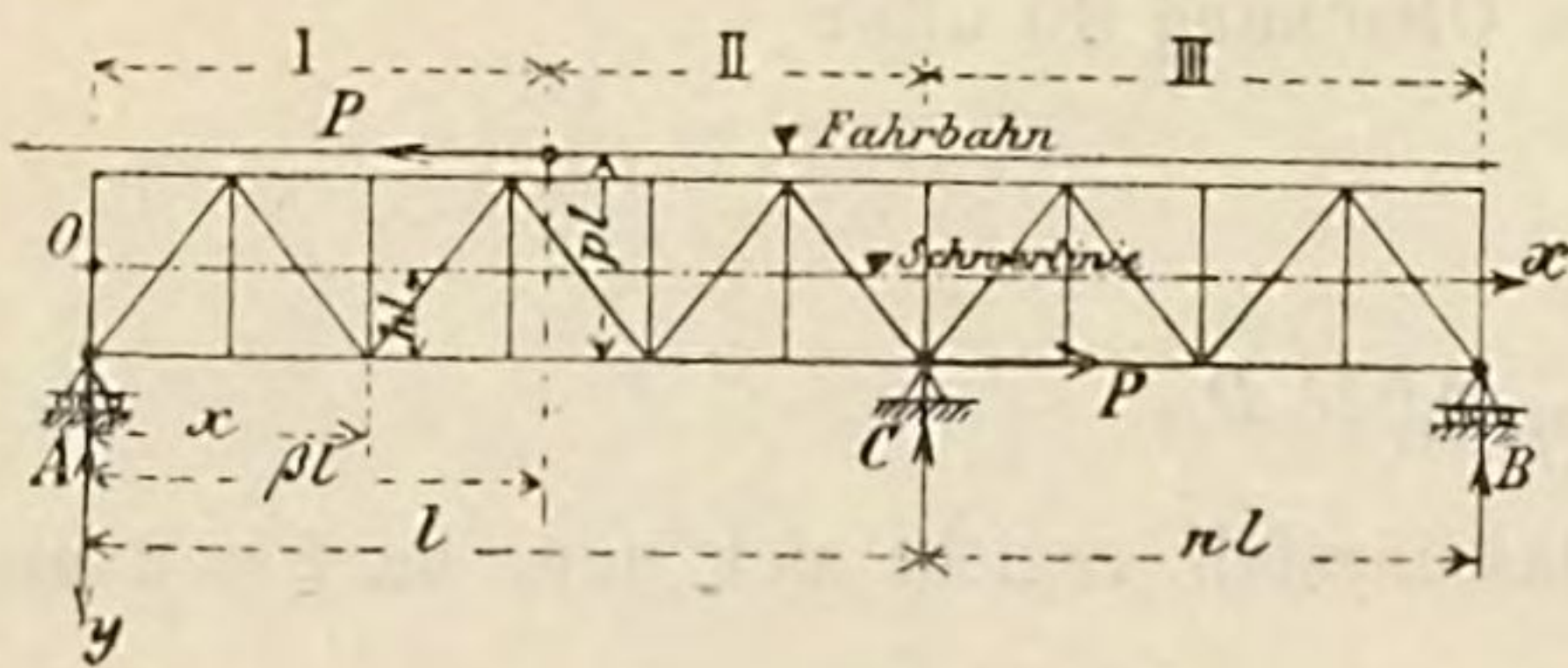
Setzt man $\beta'' = 1 - \beta'$, so erhält man die Stützendrücke schliesslich aus:

$$\left. \begin{aligned} -A = B &= \frac{P}{8 + 12n} [(1 + n) 6\beta'' - 3\beta''^2 + \beta''^3] \\ C &= B + P(1 - \beta'') \\ D = E = -G &= P\beta'' - B \end{aligned} \right\} \dots 45.$$

Setzt man $n = 0$, so muß man die früher gefundenen Gleichungen 39 bzw. 41 erhalten.³⁶⁾

8. Der über 3 Stützen durchlaufende Träger unter dem Einfluß von Längskräften (Bremswirkung). (Die 3 Stützen liegen in einer Geraden.)

Fig. 101.



1. Belastungsfall. Der Angriffspunkt der Kraft P befindet sich innerhalb des Öffnungsfeldes AC . Da nach Francke jedem äußeren Angriffsmoment M_x der Sprung

$$\Delta y = -\frac{M_x}{2EJ} (\xi - \beta)^2 l^2$$

in der Gleichung der elastischen Linie entspricht, so nimmt für den in Fig. 101 dargestellten Belastungsfall die Gleichung derselben die Form an:

$$EJy = EJ\varphi_a \xi l - \frac{1}{6} l^3 A \xi_I^3 - \frac{1}{2} l^2 M_\beta (\xi - \beta)_{II}^2 - \frac{1}{6} l^3 C (\xi - 1)^3 - \frac{1}{2} l^2 M_c (\xi - 1)_{III}^2, \quad \dots 46.$$

Hierin bedeutet M_β das Angriffsmoment an der Trägerstelle: βl und M_c das Angriffsmoment am Pfeilerquerschnitt C , bezogen auf die Trägerschweraxe.

Setzt man $\xi = \frac{x}{l}$, so folgt aus der Bedingung:

$$\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{\xi=n+1} = 0, \quad C = -\frac{1}{n} [(M_\beta + M_c) \frac{1}{l} + A(n+1)].$$

Die weitere Bedingung $[y]_{\xi=1} = 0$ gibt $6EJ\varphi_a = Al^2 + 3M_\beta l(1 - \beta)^2$; wird letzterer Wert gleichzeitig mit der Bedingung $[y]_{\xi=n+1} = 0$ in die Gleichung 46 eingeführt, so erhält man:

$$A[(n+1) - (n+1)^3 + n^3 + n^2]l - 3M_\beta[(n+1 - \beta)^2 - (1 - \beta)^2(n+1)] + (M_\beta + M_c)n^2 - 3M_cn^2 = 0$$

und hieraus, da $M_\beta = -P(p - h)l$ und $M_c = -Phl$ einzuführen ist (siehe Fig. 101), schliesslich:

$$A = P[2np + 3(p - h)(1 - \beta^2)] \frac{1}{2(n+1)} \quad \dots 47.$$

Greift die Bremskraft in der Ebene der unteren Gurtung an, so wird, da $p = 0$ zu setzen ist,

$$A = -P3h(1 - \beta^2) \frac{1}{2(n+1)}, \quad \dots 47^a.$$

für $\beta = 1$ muß $A = 0$ werden.

Für Bremswirkung in der Ebene der oberen Gurtung ist $p = 2h$ zu setzen und hierfür wird:

$$A = P[4n + 3(1 - \beta^2)] \frac{h}{2(n+1)}, \quad \dots 47^b.$$

für $\beta = 1$ wird $A = P \frac{2hn}{n+1}$.

Fällt die Bremskraftwirkung in die Schwerpunktsebene des Trägers selbst, so ist $p = h$ und

$$A = P \frac{hn}{n+1}, \quad \dots 47^c.$$

d. h. A wird eine unveränderliche GröÙe, unabhängig von der Kraftangriffsstelle βl .

³⁶⁾ Die Gleichungen 39, 41, 43 und 45 finden sich auch in Engineering News 1895 II, S. 150, jedoch groÙsenteils nur als Endergebnisse und können ohne die Gleichungen 38, 40, 42 und 44 allein zur Bestimmung der statischen GröÙen benutzt werden.

[illegible]
$$E J y = E J \varphi_a \xi l - \frac{1}{6} A l^3 \xi - \frac{1}{6} l^3 C (\xi - 1)^3 - \frac{1}{2} l^2 M_c (\xi - 1)^2 - \frac{1}{2} l^2 M_{\beta'} (\xi - 1 + \beta')^2 \dots 49.$$
[illegible]

In gleicher Weise wie oben erhält man für $p = 0$:

$$A = P \frac{3hn^2 - 3h(n + \beta')^2}{2n(n+1)} \dots \dots \dots 50^a.$$

für $p = 2h$: $A = P \frac{h n^2 + 3 h (n + \beta')^2}{2 n (n + 1)} \dots \dots \dots 50^b.$

für $\beta' = 0$ wird $A = \frac{2 h n}{n + 1} P$

und für $p = h$: $A = P \frac{n h}{n + 1} 50^{\circ}$.

Fig. 102.

A detailed diagram of a truss bridge structure. The bridge has a central span supported by a pier (C) and two side spans supported by abutments (A and B). The main span is labeled 'Schwelle' (sill) and the side spans are labeled 'Fährbahn' (ferry track). The diagram includes various dimensions and points: x is the horizontal distance from the left abutment to the first truss; βl is the horizontal distance from the first truss to the pier; l is the horizontal distance from the pier to the next truss; nl is the horizontal distance from the pier to the right abutment. The vertical height of the bridge is labeled y . The diagram also shows the truss structure with various joints and members.

$$A = \frac{P}{2(n+1)} [2(-\eta + p + h)n - 3(\eta - p)(1 - \beta^2)] \dots \dots \dots 51.$$

und: $C = \frac{1}{n} [P(-\eta + p + h) - A(n+1)] \dots \dots \dots 52.$

Da mit Rücksicht auf die durch Fig. 101 festgestellte Bezeichnungsweise $l = 5$, $nl = 3$,
 $h = \frac{0,4}{5,0} = 0,080$, $p = \frac{0,9}{5,0} = 0,180$, $n = 0,60$, $\beta_1 = \frac{1,0}{5,0} = 0,200$, $\beta_2 = 0,500$ und $\beta_3 = 0,800$
 wird, erhält man aus der Gleichung 47:

$$A = \frac{P}{2.1,6} \{2.0,6.0,180.3 + (0,180 - 0,080) [(1 - 0,200^2) + (1 - 0,500^2) + (1 - 0,800^2)]\} = P.0,2672 \text{ т.}$$

$$\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{\xi=0,5} = -Al\xi - M_{\beta_1} = [-0,2672 \cdot 5 \cdot 0,5 + (0,180 - 0,08) 5] P = -P \cdot 0,1680 \text{ tm.}$$
$$\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{\xi=1} = -Al - \sum_{\beta=1}^{\beta=3} M_{\beta} = [-0,2672 \cdot 5 + 0,10 \cdot 5 \cdot 3] P = + P \cdot 0,1640 \text{ tm.}$$

³⁷⁾ In Fig. 102 irrtümlich mit p anstatt pl bezeichnet.

B. Veränderliches Trägheitsmoment.

1. Der durchlaufende Träger über 3 Stützen, die in einer Geraden liegen.

Es sei $J_x = kx$ und $J_{x'} = k'x'$, d. h. das Trägheitsmoment wachse proportional mit der Entfernung von den beiden Endstützen A und B (Fig. 103) und erreiche über der Mittelstütze seinen Höchstwert J_C . Es ist dies eine Annahme, durch die in manchen Fällen, insbesondere bei Entwurfsarbeiten, der Veränderlichkeit des Trägheitsmomentes genügend Rechnung getragen wird. Mit Beziehung auf Fig. 103³⁸⁾ ist:

$$d\varphi = \frac{M_x}{EJ_x} dx, \quad dv = \frac{M_x}{EJ_x} dx \cdot x = \frac{M}{Ek} dx,$$

ferner ist $\tan \varphi_B = \frac{v}{l} = -\frac{v'}{nl}$, $v = -v' \left(\frac{1}{n} \right)$.

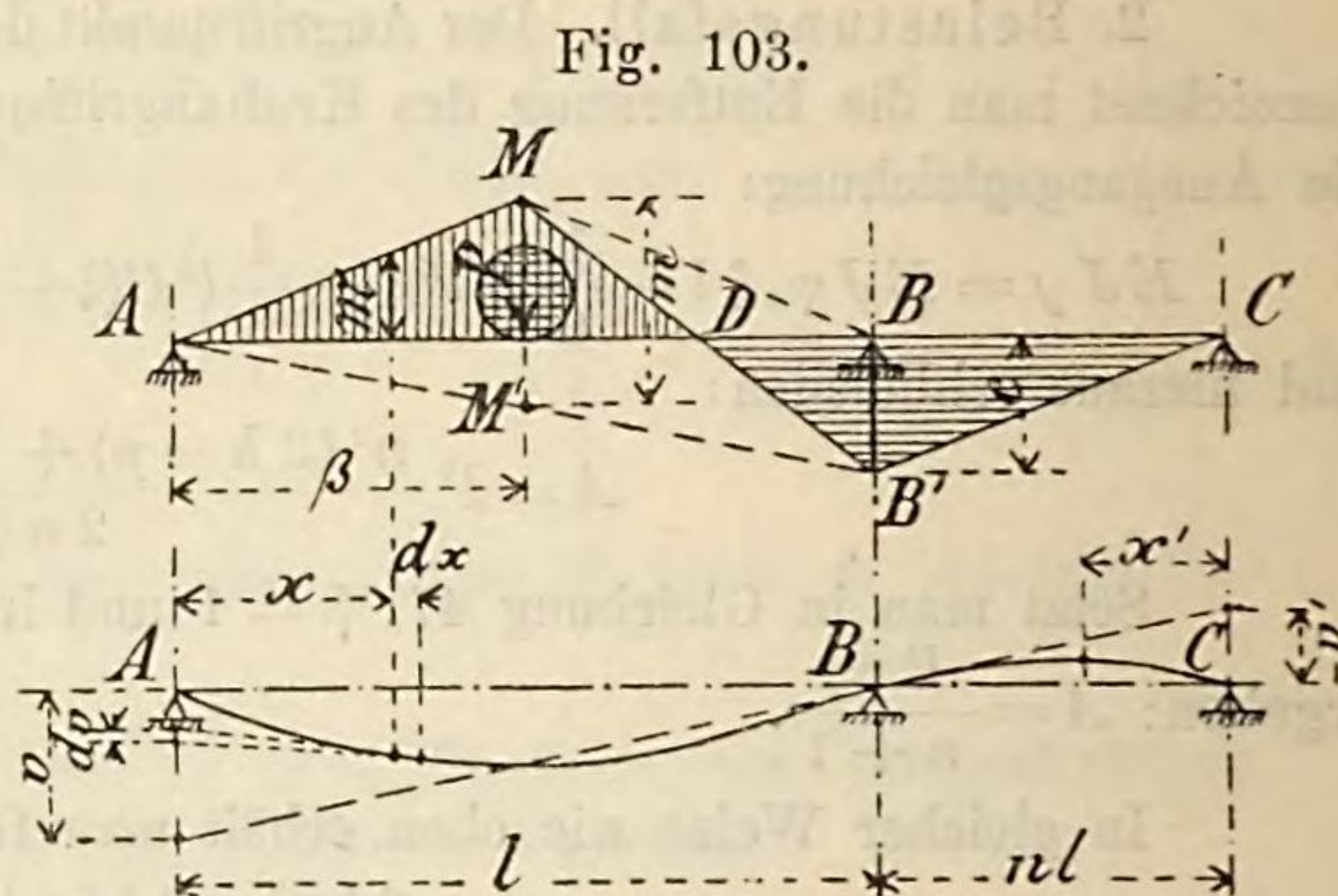


Fig. 103.

Der Annahme gemäß muß für $x = l$ und $x' = nl$: $J_C = kl = k'nl$, also $k' = \frac{k}{n}$ werden.

Nach dem obigen ist ferner $v + v' \frac{1}{n} = 0$, oder die Werte hierfür eingesetzt:

$$\frac{1}{Ek} \int_A^C M_x \cdot dx + \frac{1}{n} \cdot \frac{n}{Ek} \int_B^C M_{x'} \cdot dx' = 0.$$

Da aber nach Fig. 103:

$$\int_A^C M_x \cdot dx = \frac{1}{2} [ml - \overline{AD} \cdot c - (\overline{AC} - \overline{AD})c] = \frac{l}{2} (m - c) \quad \text{und} \quad \int_B^C M_{x'} \cdot dx' = -\frac{1}{2} c nl,$$

findet sich c aus der Gleichung:

$$c = m \frac{1}{n+1} \quad \dots \dots \dots 53.$$

Da der Wert von m für jede beliebige Laststellung βl aus der Gleichung $m = l(\beta - \beta^2)P$ bestimmt werden kann, erhält man schließlic:

$$c = \frac{l}{n+1} (\beta - \beta^2) P \quad \dots \dots \dots 54.$$

Einer Überhöhung der Mittelstütze um den gegebenen Betrag c entspricht eine Mehrbelastung der letzteren um den Betrag:

$$C = \frac{2EJ_c}{l^3} \cdot \frac{n+1}{n^2} c \quad \dots \dots \dots 55^a.$$

und einer Entlastung der Endstütze A um den Betrag:

$$A = C \frac{n}{n+1} = \frac{2EJ_c}{l^3} \cdot \frac{c}{n}, \quad \dots \dots \dots 55^b.$$

hierin bedeutet J_c das Trägheitsmoment über der Mittelstütze, und C wurde gefunden aus der Arbeitsgleichung:

$$1c = \frac{1}{E} \int_A^C \frac{M_x}{kx} \cdot \frac{dM_x}{dC} dx + \frac{1}{E} \int_B^C \frac{M_{x'}}{k'x'} \cdot \frac{dM_{x'}}{dC} dx'.$$

Beachtenswert ist, daß bei dem vorstehend angenommenen Bildungsgesetz der Trägheitsmomente die Mehrbelastung der Stütze C bei gegebener Überhöhung c anderthalbfach so groß wird, als sie sich bei unveränderlichem Trägheitsmoment J_c ergeben würde.

Sonderfall. Für gleich große Öffnungsfelder ergibt sich die besonders einfache Beziehung:

$$c = \frac{m}{2} \quad \dots \dots \dots 56.$$

die zuerst F. Bohny bei Berechnung der in Fig. 13 dargestellten gleicharmigen Drehbrücke aufgestellt hat; sie gestattet, in einfachster Weise die Einflußlinien für die Momente und Querkräfte graphisch zu ermitteln.

³⁸⁾ In Fig. 103 ist die Mittelstütze mit C , die rechte Endstütze mit B und die Laststellung mit βl (anstatt mit β) zu bezeichnen.

2. Das Trägheitsmoment ist stetig veränderlich. Der durchlaufende Träger über 3 Stützen, die in einer Geraden liegen.

Geht man von der in diesem Falle giltigen Grundgleichung:

[illegible]

aus, wobei das Bildungsgesetz für die Veränderlichkeit des Trägheitsmomentes J_x gegeben ist durch die Gleichung:

$$\frac{1}{J_{\mathbf{x}}} = f(\mathbf{x}) = a + b x + c x^2 + d x^3 + \dots$$

und bezeichnet man der Abkürzung halber die Integrale dieser Funktion der Reihe nach mit $F'(x)$, $F''(x)$, $F'''(x)$ derart, daß:

$$\int f(x) \, dx = F(x) = \left(a + \frac{1}{2} b x + \frac{1}{3} c x^2 + \frac{1}{4} d x^3 + \dots \right) x$$

$$\int \int f(x) \, d x = F'(x) = \left(a + \frac{1}{3} b x + \frac{1}{6} c x^2 + \frac{1}{10} d x^4 + \dots \right) \frac{x^2}{2}$$

$$\int \int \int f(x) \, d x = F''(x) = \left(a + \frac{1}{4} b x + \frac{1}{10} c x^2 + \frac{1}{20} d x^4 + \dots \right) \frac{x^3}{6}$$

gefunden wird, so erhält man durch zweimalige Integration der Gleichung 57, die man auch schreiben kann:

$$-E \frac{d^2 y}{dx^2} = M_x \cdot f(x)$$

unter Berücksichtigung der Bedingungen, daß für $x = 0, y = 0$;
ferner für

$$x=0; \frac{dy}{dx} = \varphi_a \text{ und } M_o = 0$$

wird, die Grundgleichung:

[illegible]

Bezeichnet man die Trägerstrecke von A bis P mit I, von P bis C mit II und von C bis B mit III, so kann man die Gleichung 58, da für den in Fig. 104 dargestellten Belastungsfall ganz allgemein:

$$M_x = A \underset{\text{I}}{x}, - P \underset{\text{II}}{(x - \beta l)}, + C \underset{\text{III}}{(x - l)},$$

zu setzen ist, wenn die Gültigkeitsgrenzen dieser Gleichung mit I, II und III (vergl. auch S. 111, Fig. 76^a) gekennzeichnet werden, schliesslich auf die Form bringen:

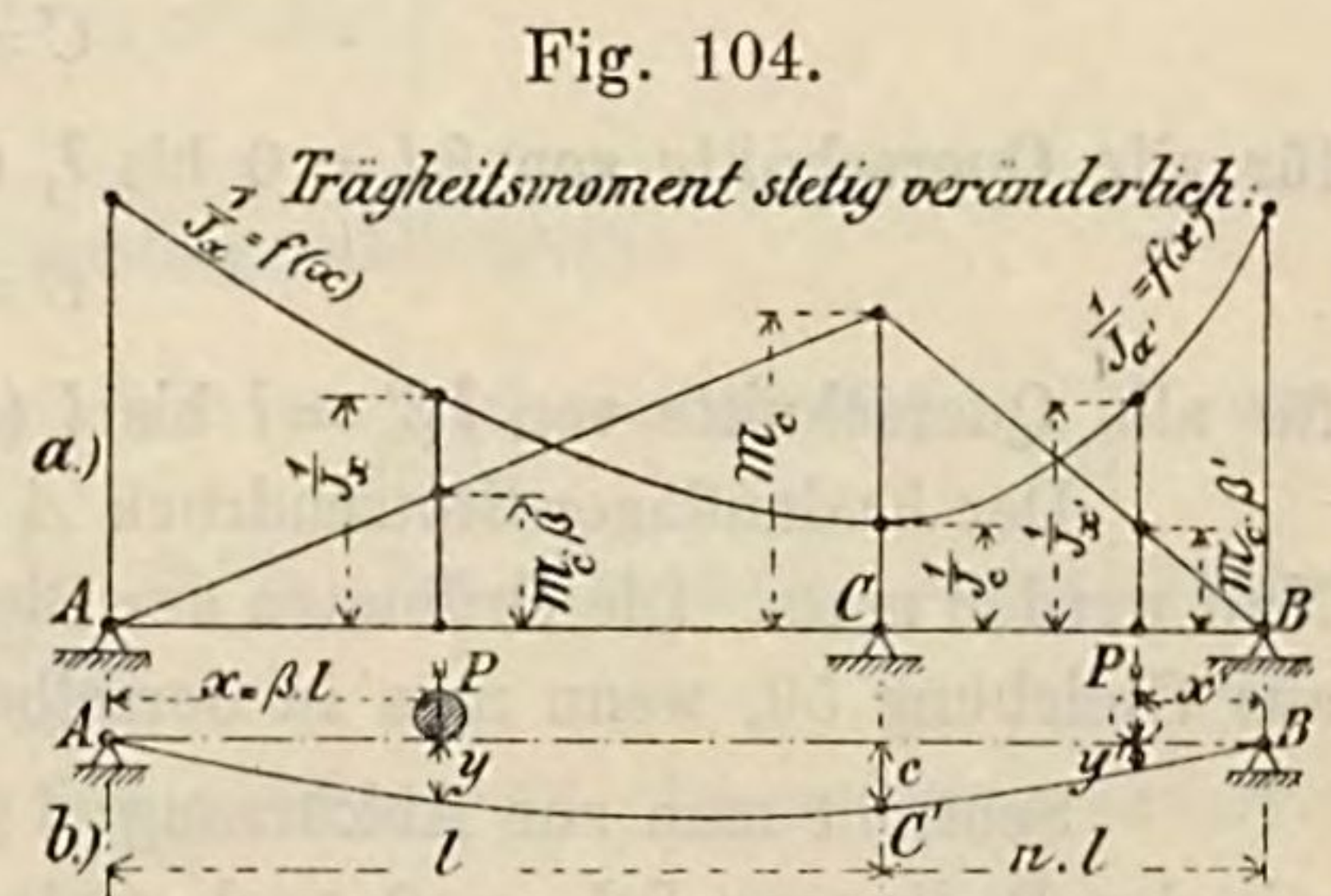
$$\left. \begin{aligned} & E y = E \varphi_a . x - A \left\{ x [x F(x) - F'(x)] \underset{x=0}{\overset{x=x}} - [x^2 F(x) - 2 x F'(x) + 2 F''(x)] \underset{x=0}{\overset{x=x}} \right\}, \\ & + P \left\{ x [(x - \beta l) F(x) - F'(x)] \underset{x=\beta l}{\overset{x=x}} - [x(x - \beta l) F(x) - (2 x - \beta l) F'(x) + 2 F''(x)] \underset{x=\beta l}{\overset{x=x}} \right\}, \\ & - C \left\{ x [(x - l) F(x) - F'(x)] \underset{x=l}{\overset{x=x}} - [(x - l) x F(x) - (2 x - l) F'(x) + 2 F''(x)] \underset{x=l}{\overset{x=x}} \right\}, \end{aligned} \right\} \dots 59.$$

hieraus findet sich die weitere Gleichungsfolge:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d y}{d x} &= \varphi_a - \frac{A}{E} [x F(x) - F'(x)]_{x=0}^{\quad x=x} \text{ I} + \frac{P}{E} [(x - \beta l) (F(x) - F'(x))]_{x=\beta l}^{\quad x=x} \text{ II} \\ &- \frac{C}{E} [(x - l) F(x) - F'(x)]_{x=l}^{\quad x=x} \text{ III} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 60.$$

$$\frac{E}{f(x)} \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = -A \underset{\text{I}}{x} + P(\xi - \beta) \underset{\text{II}}{l} - C \underset{\text{III}}{(x - l)} = -M_x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 61.$$

$$\frac{E}{f(x)} \cdot \frac{d^3 y}{d x^3} = - \underset{\text{I}}{A_1} + \underset{\text{II}}{P_1} - \underset{\text{III}}{C_1} = + Q_x \dots \dots \dots 62.$$



Diese Gleichungsfolge gestattet in Verbindung mit den Bedingungsgleichungen:

$$[y]_{x=l} = [y]_{x=l(n+1)} = 0 \quad \text{und} \quad \left[\frac{E}{f(x)} \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{x=l(n+1)} = 0$$

die statischen und elastischen Größen bei jeder Laststellung für jeden Querschnitt zu berechnen.

Bei Anwendung der Gleichung 59 möge beachtet werden, daß die Grenzen $x=0$ und $x=x$; $x=\beta l$ und $x=x$ u. s. w. sich nur auf die Klammerausdrücke [...], nicht aber auf den Faktor x beziehen; es folgt dies unmittelbar aus der Ableitung der letztgenannten Gleichung aus der Gleichung 58.

Eine wesentliche Kürzung der Rechnung kann mit Beziehung des Maxwell'schen Satzes in folgender Weise erzielt werden:

Obenstehende Gleichungsfolge liefert unmittelbar jede gesuchte Größe, sobald die Auflagerkräfte A und C gefunden sind; um letztere zu ermitteln, denke man sich vorerst die Mittelstütze C entfernt, an deren Stelle die Krafteinheit lotrecht nach abwärts wirkend angebracht und für diesen Belastungsfall die Biegelinie ACB (Fig. 104 b) berechnet, so ist, da in obenstehenden Gleichungen: $C=1$ t und $A=1 \frac{n}{n+1}$, $P=0$ zu setzen und bei den mit C behafteten Gliedern das Vorzeichen umzukehren.

Bezeichnet man für diesen Belastungsfall (Fig. 104 b) die Einsenkungstiefe unter Laststelle C mit c , die Einsenkungstiefe an der Trägerstelle x mit y , so ergeben sich die Werte für die Einflußlinien der Mittelstützendrücke, hervorgerufen durch die wandernde Einzellast P , aus den Gleichungen:

$$C = P \frac{y}{c} \quad \dots \dots \dots 64^a.$$

für alle Querschnitte von $\beta l=0$ bis l , und:

$$C = P \frac{y'}{c} \quad \dots \dots \dots 64^b.$$

für alle Querschnitte von $l\beta'=l$ bis $l(n+1)$.

Der Endauflager-Stützendruck A findet sich hierauf aus Gleichung 61, da für $x=l(n+1)$ dieselbe Null werden muß. Die Ordinaten der Biegelinie für den frei aufliegenden Träger AB ergeben sich mithin aus Gleichung 59, wenn man in derselben $P=0$ setzt und C mit entgegengesetzten Vorzeichen einführt.

Schreibt man zur Abkürzung: $l(n+1)=L$, so giebt die letztgenannte Gleichung in Verbindung mit der Bedingung $[y]_{x=L}=0$ nach einiger Umformung schließlic:

$$\varphi_a = \frac{1}{EL} \left\{ \frac{4}{3} F''(L) - \frac{1}{2} l F'(l) - 2 F''(l) \right\} \quad \dots \dots \dots 65.$$

und die gesuchte Einsenkung an der Laststelle C findet sich nun aus der Gleichung:

$$c = \varphi_a \cdot l - \frac{1}{E} \cdot \frac{n}{n+1} [l F'(l) - 2 F''(l)] \quad \dots \dots \dots 66.$$

Den weiteren Verlauf der Biegelinie erhält man nun aus folgenden beiden Gleichungen:

Für alle Querschnitte zwischen $x=0$ bis l aus:

$$y = \varphi_a x - \frac{1}{E} \cdot \frac{n}{n+1} [x F'(x) - 2 F''(x)] \quad \dots \dots \dots 67^a.$$

und zwischen $x=l$ bis $L=l(n+1)$:

$$y' = \varphi_a x - \frac{1}{E} \left\{ \frac{n}{n+1} \cdot [x F'(x) - 2 F''(x)] - [(x-l) \{F'(x) - F'(l)\} - 2 \{F''(x) - F''(l)\}] \right\} \dots 67^b.$$

Sind nun aus den Gleichungen 64^a und 64^b die Stützendrücke für alle Laststellungen berechnet, so kann mittels der Gleichungsfolge 59 bis 62 jede beliebige statische oder elastische Größe gefunden werden.

Formgleichung der Trägheitsmomente der Trägerquerschnitte: Werden die als gegeben vorausgesetzten Trägheitsmomente in den Abständen $x=0, 1, 2, \dots$ von der linken Endstütze mit $J_0, J_1, J_2, \dots$ bezeichnet und hieraus die Werte $y_0 = \frac{1}{J_0}$, $y_1 = \frac{1}{J_1}$, $y_2 = \frac{1}{J_2} \dots$ berechnet, so lassen sich die Beiwerte: $a, b, c, d, \dots$ der Formgleichung:

$$f(x) = \frac{1}{J_x} = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

aus folgendem System linearer Gleichungen bestimmen:

$$\begin{aligned} y_0 &= a \\ y_1 &= a + b + c + d + \dots \\ y_2 &= a + 2b + 4c + 8d + \dots \\ y_3 &= a + 3b + 9c + 27d + \dots \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

Überhöhung der Mittelstütze um einen gegebenen Betrag c : Handelt es sich um die Ermittlung der statischen Größen allein, so genügt die Kenntnis der Stützendrücke, zu deren Berechnung man zweckmäßig von der Arbeitsgleichung ausgeht, die mit Beziehung auf Fig. 104 lautet:

$$c = \frac{1}{E} \int_A^C \frac{M_x}{J_x} \cdot \frac{dM_x}{dC} dx + \frac{1}{E} \int_B^C \frac{M_{x'}}{J_{x'}} \cdot \frac{dM_{x'}}{dC} dx'.$$

Ist die Formgleichung für die Trägheitsmomente des linken Öffnungsfeldes AC in Bezug auf die Endstütze A als Ausgangspunkt des Koordinatensystemes gegeben durch die Gleichung:

$$\frac{1}{J_x} = f(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

und in gleicher Weise für das rechte Öffnungsfeld CB in Bezug auf die rechte Endstütze B durch die Gleichung:

$$\frac{1}{J_{x'}} = f'(x) = a' + b'x' + c'x'^2 + d'x'^3 + \dots,$$

so erhält man durch Einführung der Werte für:

$$M_x \frac{dM_x}{dC} = \left(\frac{n}{n+1} \right)^2 x^2 \quad \text{und} \quad M_{x'} \cdot \frac{dM_{x'}}{dC} = \left(\frac{1}{n+1} \right)^2 x'^2$$

in die Arbeitsgleichung:

$$c = \frac{1}{E} \cdot \frac{1}{(n+1)^2} \left\{ n^2 \int_A^C f(x) x^2 dx + \int_B^C f'(x) x'^2 dx' \right\},$$

und hieraus nach Ausführung der Integrationen und einiger Umformung schliesslich:

$$c = \frac{C}{E} \cdot \frac{n^2 l^3}{(n+1)^2} \left[\frac{1}{3} (a + a'n) + \frac{1}{4} (b + b'n^2) l + \frac{1}{5} (c + c'n^3) l^2 + \frac{1}{6} (d + d'n^4) l^3 + \dots \right] \dots 66^a.$$

Diese Gleichung geht, wenn $f(x) = f'(x) = a = a' = \frac{1}{J}$, d. h. das Trägheitsmoment unveränderlich gewählt wird, über in die früher gefundene Gleichung 20.

Die Gleichung 66^a kann zweckmäßig zur Prüfung des aus der Gleichung 66 (die auf ganz anderem Wege gefunden wurde) berechneten Wertes c benutzt werden.

Beispiel. In der Mitte des grossen Öffnungsfeldes einer 60 m langen ungleicharmigen, auf gleich hohen Stützen aufgelagerten Drehbrücke ($40 + 20 = 60$ m) steht die Einzellast P ; es sollen die Auflagerdrücke, die Tangente an die elastische Linie an der linken Endstütze A und die Einsenkung des Trägers an der Laststelle berechnet werden. Die Trägheitsmomente an den beiden Endstützen betragen: $0,05 \text{ m}^4$, in der Mitte des langen Armes $0,40 \text{ m}^4$ und über der Mittelstütze $0,50 \text{ m}^4$.

Im vorliegenden Fall ergibt sich, da für $x_0 = 0$, $y_0 = 20$; für $x_1 = 20$, $y_1 = 2,50$; für $x_2 = 40$, $y_2 = 2$ und für $x_3 = 60$ m, $y_3 = 20$ wird, folgende Formgleichung der Trägheitsmomente:

$$f(x) = 20 - 1,275x + 0,019375x^2 + 0,00003125x^3,$$

mithin:

$$F(x) = (20 - 0,6375x + 0,00645833x^2 + 0,0000078125x^3)x,$$

$$F'(x) = (20 - 0,4250x + 0,003229166x^2 + 0,000003125x^3) \frac{x^2}{2},$$

$$F''(x) = (20 - 0,318750x + 0,0019375x^2 + 0,0000015625x^3) \frac{x^3}{6}.$$

Die zur weiteren Berechnung erforderlichen Funktionswerte ergeben sich nach diesen Gleichungen wie folgt:

Für $x = 20$ m wird:

$$F(20) = 197,9; F'(20) = 2563,3; F''(20) = 19217; \text{ für } x = 40 \text{ m: } F(40) = 213,33;$$

$$F'(40) = 6693; F''(40) = 111467; \text{ für } x = 60 \text{ m: } F(60) = 341,25; F'(60) = 12240;$$

$$\text{und } F''(60) = 294750.$$

Man findet nun aus Gleichung 65:

$$\varphi_a = \frac{1}{60E} \left\{ \frac{4}{3} 294750 - \frac{1}{2} 40 \cdot 6693 - 2 \cdot 111467 \right\} = \frac{1}{E} 603,33$$

und hieraus mittels der Gleichung 66:

$$c = \frac{1}{E} \left\{ 603,33 \cdot 40 - \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} [40 \cdot 6693 - 2 \cdot 111467] \right\} = \frac{1}{E} 9204.$$

Zur Prüfung möge dieser zuletzt gefundene Wert noch mittels der Gleichung 66^a berechnet werden:

Die Formgleichungen für das Bildungsgesetz der Trägheitsmomente lauten für das linke, bzw. rechte Öffnungsfeld, jeweilig auf die Endstütze A , bzw. B bezogen,

$$f(x) = 20 - 1,275 x + 0,019\,375 x^2 + 0,000\,031\,25 x^3;$$

$$\text{bzw. } f'(x) = 20 - 1,3875 x' + 0,025\,000 x'^2 - 0,000\,031\,25 x'^3;$$

mithin wird nach Gleichung 66^a für $C = 1 \text{ t}$:

$$c = \frac{1}{E} \cdot \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^2 40^3 \left[\frac{1}{3} \left(20 + \frac{1}{2} 20\right) + \frac{1}{4} \left(-1,275 - \frac{1}{4} \cdot 1,3875\right) 40 \right. \\ \left. + \frac{1}{5} \left(+0,019\,375 + \frac{1}{8} 0,025\,000\right) 40^2 + \frac{1}{6} \left(0,000\,031\,25 - \frac{1}{16} 0,000\,031\,25\right) 40^3 \right] \\ = \frac{1}{E} 7111,1 \cdot 1,294 = \frac{1}{E} 9202$$

(daher bis auf 0,02% Übereinstimmung mit dem oben gefundenen Wert).

Die Einbiegung wird um 29,4% größer, als sie sich ergeben hätte, wenn der Querschnitt über der Zwischenstütze C unveränderlich bis an die beiden Endstützen durchlaufen würde.

Für $x = 20 \text{ m}$ wird nach Gleichung 67^a:

$$y_{20} = \frac{1}{E} \left\{ 603,33 \cdot 20 - \frac{1}{3} [20 \cdot 2563,3 - 2 \cdot 19\,217] \right\} = \frac{1}{E} 7789,3,$$

mithin nach Gleichung 64^a der gesuchte Mittelstützendruck:

$$C = P \frac{7789}{9204} = 0,846 P,$$

und hieraus, da nach Gleichung 61: $A \cdot 60 - P(60 - 20) + (60 - 40) 0,846 P = 0$ sein muß:

$$A = 0,385 P.$$

Die Tangente an die elastische Linie über der linken Endstütze A findet sich aus der Gleichung 59, die sich, weil sie für $x = L = l(n + 1)$ Null werden muß, auf die Form bringen läßt:

$$0 = E \varphi_a L - A \{ L F'(L) - 2 F''(L) \} + P \{ (L - \beta l) [F'(L) + F'(\beta l)] - 2 [F''(L) - F''(l)] \} \\ - C \{ (L - l) [F'(L) + F'(l)] - 2 [F''(L) - F''(l)] \}.$$

Führt man in diese Gleichung die betreffenden Einzelwerte ein und beachtet, daß $x = \beta l = \frac{1}{3} L$ wird, so erhält man:

$$\varphi_a = \frac{P}{60 E} \{ 0,385 [60 \cdot 12240 - 2 \cdot 294750] - (60 - 20) [(12240 + 2563,3) - 2 (294750 - 19217)] \\ + 0,875 [20 (12240 + 6693) - 2 (294750 - 111467)] \} = \frac{P}{E} 416,1$$

und hieraus schließlich die gesuchte Einsenkung an der Laststelle aus Gleichung 59, wenn in dieselbe $x = 20 \text{ m}$ eingesetzt wird,

$$y_{20} = \frac{P}{E} \{ 416,1 \cdot 20 - 0,385 [20 \cdot 2563,3 - 2 \cdot 19\,217] \} = \frac{P}{E} 3382.$$

Für ein unveränderliches Trägheitsmoment $J_c = 0,50 \text{ m}^4$ (Mittelstütze) finden sich die Werte: $A = 0,375 P$; $C = 0,875 P$; $\varphi_a = 133,3 \frac{P}{E}$ und $y_{20} = 1666 \frac{P}{E}$; mithin betragen die Abweichungen hiervon mit Berücksichtigung der stetigen Veränderlichkeit der Trägheitsmomente $\Delta A = 2,7\%$; $\Delta C = 3,4\%$; $\Delta \varphi_a = 212\%$ und $\Delta y_{20} = 103\%$.

Ein Vergleich dieser Werte zeigt, daß zwar die Voraussetzung eines durchaus unveränderlichen Trägheitsmomentes bei der Untersuchung des elastischen Verhaltens eines über 3 Stützen durchlaufenden Trägers mit veränderlichen Trägheitsmomenten zu vollständig unbrauchbaren Ergebnissen führt, jedoch bei der Berechnung der statischen Größen in den meisten Fällen brauchbare Näherungswerte giebt.

3. Das Trägheitsmoment ist sprungweise veränderlich.

a) Der durchlaufende Träger über 3 Stützen, die in einer Geraden liegen.

Andert sich das Trägheitsmoment an der Trägerstelle ρ , sprungweise von J_ρ auf $J_{\rho+1}$ übergehend, so ist die Änderung, die die Gleichung der elastischen Linie an der betrachteten Trägerstelle ρ durch diese Querschnittsänderung erfährt, gegeben durch:

$$\Delta y = - \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{E J_\rho J_{\rho+1}} \left[- M_\rho (\xi - \eta_\rho)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_\rho (\xi - \eta_\rho)^3 l^3 \right],$$

wobei mit M_ρ das Biegemoment, mit Q_ρ die innere Querkraft an der Trägerstelle ρ bezeichnet wird, und die Bedeutung von ξ und ϑ_ρ aus der Fig. 105 zu entnehmen ist.

Bezeichnet man die Ordinaten der elastischen Linien innerhalb der Trägerstrecken I, II, III, ... mit:

$$y_I, y_{II}, y_{III} \dots,$$

so lassen sich für den in Fig. 105 dargestellten Belastungsfall unmittelbar folgende Gleichungen anschreiben:

$$\begin{aligned} y_I &= \varphi_a \xi l - \frac{A}{6 E J_1} \xi^3 l^3 \\ y_{II} &= y_I - \frac{J_2 - J_1}{E J_1 J_2} \left[-\frac{1}{2} M_1 (\xi - \vartheta_1)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_1 (\xi - \vartheta_1)^3 l^3 \right] \\ y_{III} &= y_{II} - \frac{J_3 - J_2}{E J_2 J_3} \left[-\frac{1}{2} M_2 (\xi - \vartheta_2)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_2 (\xi - \vartheta_2)^3 l^3 \right] \\ y_{IV} &= y_{III} - \frac{J_4 - J_3}{E J_3 J_4} \left[-\frac{1}{2} M_3 (\xi - \vartheta_3)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_3 (\xi - \vartheta_3)^3 l^3 \right] + P \frac{1}{6 E J_4} (\xi - \beta)^3 l^3 \\ y_V &= y_{IV} - \frac{J_5 - J_4}{E J_4 J_5} \left[-\frac{1}{2} M_4 (\xi - \vartheta_4)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_4 (\xi - \vartheta_4)^3 l^3 \right] \\ y_{VI} &= y_V - \frac{J_6 - J_5}{E J_5 J_6} \left[-\frac{1}{2} M_5 (\xi - \vartheta_5)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_5 (\xi - \vartheta_5)^3 l^3 \right] \\ y_{VII} &= y_{VI} - \frac{J_7 - J_6}{E J_6 J_7} \left[-\frac{1}{2} M_6 (\xi - 1)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_6 (\xi - 1)^3 l^3 \right] - C \frac{1}{6 E J_7} (\xi - 1)^3 l^3 \\ y_{VIII} &= y_{VII} - \frac{J_8 - J_7}{E J_7 J_8} \left[-\frac{1}{2} M_7 (\xi - \vartheta_7)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_7 (\xi - \vartheta_7)^3 l^3 \right] \\ y_{IX} &= y_{VIII} - \frac{J_9 - J_8}{E J_8 J_9} \left[-\frac{1}{2} M_8 (\xi - \vartheta_8)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_8 (\xi - \vartheta_8)^3 l^3 \right]. \end{aligned}$$

Setzt man zur Abkürzung:

$$\begin{aligned} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{E J_\rho J_{\rho+1}} &= \alpha_\rho; \quad \left[-\frac{1}{2} M_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^3 l^3 \right] = \Delta(\rho); \\ \frac{1}{6 E J_1} &= k_1; \quad \frac{1}{6 E J_3} = k_p \quad \text{und} \quad \frac{1}{6 E J_6} = k_c \end{aligned}$$

und führt diese Werte in obiges Gleichungssystem ein, so erhält man folgende allgemein gültige Grundgleichungen:

$$\left. \begin{aligned} y_\rho &= \varphi_a \xi l - k_1 A \xi^3 l^3 - \sum_{\rho=1}^{\rho=2} \alpha_\rho \Delta(\rho)_{III} + k_p P (\xi - \beta)^3 l^3 - \sum_{\rho=3}^{\rho=5} \alpha_\rho \Delta(\rho)_{VI} \\ &\quad - k_c C (\xi - 1)^3 l^3 - \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \alpha_\rho \Delta(\rho)_{IX} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 68.$$

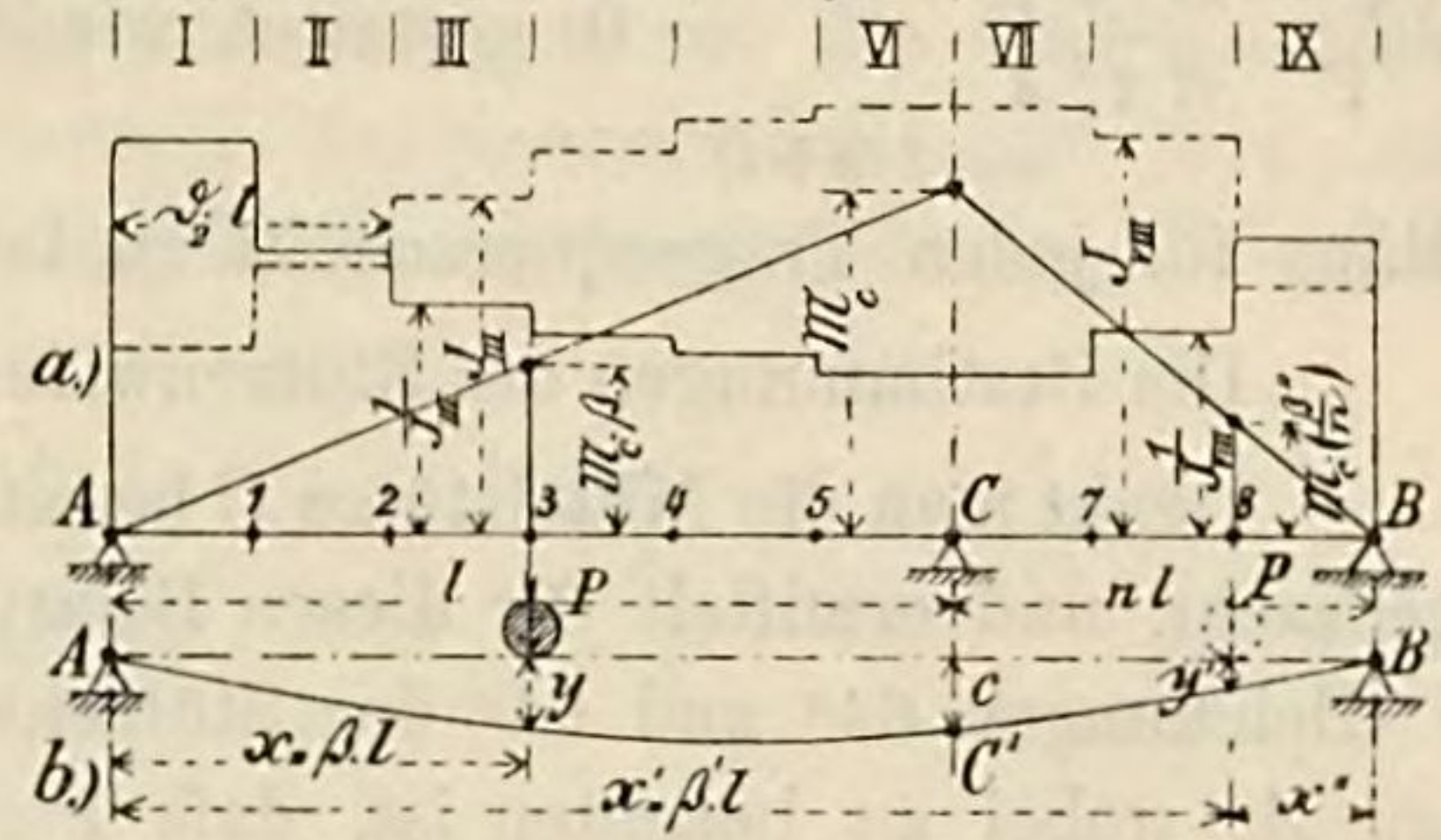
$$\left. \begin{aligned} \varphi_x = \frac{dy_\rho}{dx} &= \varphi_a - 3 k_1 A \xi^2 l^2 - \sum_{\rho=1}^{\rho=2} \alpha_\rho \frac{d \Delta(\rho)}{dx}_{III} + 3 k_p P (\xi - \beta)^2 l^2 - \sum_{\rho=3}^{\rho=5} \alpha_\rho \frac{d \Delta(\rho)}{dx}_{VI} \\ &\quad - 3 k_c C (\xi - 1)^2 l^2 - \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \alpha_\rho \frac{d \Delta(\rho)}{dx}_{IX} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 69.$$

$$\left. \begin{aligned} E J_\rho \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} &= E J_\rho \left\{ -6 k_1 A \xi l - \sum_{\rho=1}^{\rho=2} \alpha_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{dx^2}_{III} + 6 k_p P (\xi - \beta) - \sum_{\rho=3}^{\rho=5} \alpha_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{dx^2}_{VI} \right. \\ &\quad \left. - 6 k_c C (\xi - 1) l - \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \alpha_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{dx^2}_{IX} \right\} = -M_x \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 70.$$

$$\left. \begin{aligned} E J_\rho \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} &= E J_\rho \left\{ -6 k_1 A - \sum_{\rho=1}^{\rho=2} \alpha_\rho \frac{d^3 \Delta(\rho)}{dx^3}_{III} + 6 k_p J_\rho P - \sum_{\rho=3}^{\rho=5} \alpha_\rho \frac{d^3 \Delta(\rho)}{dx^3}_{VI} \right. \\ &\quad \left. - 6 k_c C - \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \alpha_\rho \frac{d^3 \Delta(\rho)}{dx^3}_{IX} \right\} = +Q_x \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 71.$$

Fig. 105.

Trägheitsmoment sprunghaft veränderlich.



Diese Gleichungsfolge in Verbindung mit den Bedingungsgleichungen: $[y]_{x=l} = [y]_{x=l(n+1)}$ und $\left[E J_\rho \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} \right]_{x=l(n+1)} = 0$ gestattet wieder, die statischen und elastischen Größen bei beliebiger Laststellung für jeden Trägerquerschnitt zu berechnen.

Die Bestimmungen der Stützenwiderstände A und C erfolgt jedoch rascher in nachstehender Weise:

Denkt man die Mittelstütze C beseitigt und an deren Stelle die Lastenheit lotrecht abwärts wirkend angebracht, und ermittelt für diesen Belastungsfall den Verlauf der elastischen Linie, so findet sich mittels der Gleichungen 64^a und 64^b der Stützenwiderstand C und hierauf aus Gleichung 70 der Stützenwiderstand A , wobei zu beachten ist, daß $P=0$ und die Lastenheit bei C als äußere Kraft mit entgegengesetztem Vorzeichen einzuführen ist, sowie daß $\left[E J_\rho \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} \right]_{x=l(n+1)} = 0$ werden muß für $x=l(n+1)$.

Führt man die Werte für k_1 , k_p und k_c in Gleichung 70 ein, so erhält man für den zuletzt vorausgesetzten Belastungsfall:

$$E J_\rho \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} = J_\rho \left\{ -\frac{A}{J_1} \xi l - \sum_{\rho=1}^{\rho=5} \alpha_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} + \frac{C}{J_6} C (\xi - 1) - \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \alpha_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} \right\} = -M_x$$

oder, wenn man zur Abkürzung: $\frac{J_\rho + 1 - J_\rho}{J_\rho J_\rho + 1} = \gamma_\rho$; $\frac{1}{J_1} = \gamma_a$ und $\frac{1}{J_6} = \gamma_c$ einführt, die letzte Gleichung mit $\frac{1}{J_\rho}$ multipliziert und berücksichtigt, daß für $x=l(n+1)$, $-M_x = 0$ werden muß:

$$A \gamma_a (n+1) l + \sum_{\rho=1}^{\rho=5} \gamma_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} - C \gamma_c n l + \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \gamma_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} = 0.$$

Da aber $\frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} = -M_\rho + Q_\rho (\xi - \vartheta_\rho)$ wird, wobei für alle Trägerquerschnitte von $x=0$ bis $x=l$ an jenen Stellen, da wo der Sprung des Trägheitsmomentes stattfindet: $M_\rho = A \vartheta_\rho l$ und $Q_\rho = -A$ und an allen Trägerquerschnitten von $x=l$ bis $x=l(n+1)$: $M_\rho = [A \vartheta_\rho - C (\vartheta_\rho - 1)] l$ und $Q_\rho = -A + C$ einzuführen ist, so erhält man durch Einsetzen dieser Werte in die letzte Gleichung schließlich die Beziehung:

$$A = C \frac{n}{n+1} \cdot \frac{\gamma_c - \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \gamma_\rho}{\gamma_a - \left(\sum_{\rho=1}^{\rho=5} \gamma_\rho + \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \gamma_\rho \right)} = C \frac{n}{n+1} \cdot 1, \dots \dots \dots 72.$$

die auch unmittelbar aus der Bedingung, daß das Trägersystem in Bezug auf die rechte Endstütze gegen Drehung im Gleichgewicht sein muß, hätte angeschrieben werden können. Die Gleichung 72 dient im vorliegenden Fall nur zur grundsätzlichen Prüfung der Ausgangsgleichung 68.

Der Verlauf der elastischen Linie für den zuletzt betrachteten Belastungsfall (der an den Enden frei aufgelagerte Träger AB) bestimmt sich nun, da φ_a aus der Gleichung:

$$\varphi_a = \left\{ k_1 n(n+1) - k_c \frac{n^3}{n+1} - \frac{1}{6(n+1)^2} \left[n \sum_{\rho=1}^{\rho=5} \alpha_\rho (n+1 - \vartheta_\rho)^2 (n+1 + 2\vartheta_\rho) + 2 \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \alpha_\rho (n+1 - \vartheta_\rho)^3 \right] \right\} l^2 \quad 73.$$

die aus der Bedingungsgleichung: $[y]_{x=l(n+1)} = 0$ abgeleitet wurde, berechnet werden kann, aus:

$$y_\rho = \varphi_a \xi l + \left\{ -\frac{n}{n+1} k_1 \xi^3 + \frac{n}{6(n+1)} \sum_{\rho=1}^{\rho=5} \alpha_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^2 (\xi + 2\vartheta_\rho)_C + k_6 \cdot 1 \cdot (\xi - 1)^3 + \frac{1}{6(n+1)} \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \alpha_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^2 [n(\xi + 2\vartheta_\rho) - (n+1)(\xi - 1)]_B \right\} l^3 \quad 74.$$

Setzt man in letztere Gleichung: $\xi = 1$, so wird $y_\rho = c$ und man erhält die Einbiegung unter der Lastenheit C aus:

$$c = \varphi_a l - \left[k_1 - \frac{1}{6} \sum_{\rho=1}^{\rho=5} \alpha_\rho (1 - \vartheta_\rho)^2 (1 + 2\vartheta_\rho) \right] \frac{n}{n+1} l^3 \dots \dots \dots 75.$$

Da nun mittels der Gleichungen 64^a, bzw. 64^b, der Mittelstützdruck C und hierauf aus der Gleichung 70, welche letztere für $x = l(n + 1)$ den Wert Null liefern muß, die Endstützdrücke A für alle Laststellungen der wandernden Einzellast P berechnet werden können, gestattet die Gleichungsfolge 68 bis 71, alle statischen und elastischen Größen für jeden beliebigen Trägerquerschnitt und jede Laststellung zu ermitteln. Für die weitere Berechnung läßt sich diese Gleichungsfolge jedoch auf folgende einfachere Form bringen.

Beachtet man daſs:

$$\Delta(\rho) = -\frac{1}{2} M_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^3 l^3,$$

mithin:

$$\frac{d \Delta(\rho)}{d x^3} = -M_\rho (\xi - \vartheta_\rho) l + \frac{1}{2} Q_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^2;$$

$$\frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} = -M_\rho + Q_\rho (\xi - \vartheta_\rho) l \quad \text{und} \quad \frac{d^3 \Delta(\rho)}{d x^3} = +Q_\rho$$

wird, wobei

für die Querschnitte von $\xi = 0$ bis β :

$$M_\rho = A \vartheta_\rho l; \quad Q_\rho = -A,$$

mithin:

$$\Delta(\rho) = -\frac{1}{6} A l^3 (\xi - \vartheta_\rho)^2 (\xi + 2 \vartheta_\rho); \quad \frac{d \Delta(\rho)}{d x} = -\frac{1}{2} A l^2 (\xi^2 - \vartheta_\rho^2);$$

$$\frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} = -A \xi l \quad \text{und} \quad \frac{d^3 \Delta(\rho)}{d x^3} = -A$$

für die Querschnitte $\xi = \beta$ bis $x = 1$:

$$M_\rho = [A \vartheta_\rho - P(\vartheta_\rho - \beta)] l; \quad Q_\rho = -A + P,$$

mithin:

$$\Delta(\rho) = -\frac{1}{6} l^3 (\xi - \vartheta_\rho)^2 [A (\xi + 2 \vartheta_\rho) - P (\xi - 3 \beta + 2 \vartheta_\rho)];$$

$$\frac{d \Delta(\rho)}{d x} = -\frac{1}{2} l^2 (\xi - \vartheta_\rho) [A (\xi + \vartheta_\rho) - P (\xi + \vartheta_\rho - 2 \beta)];$$

$$\frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} = [-A \xi + P (\xi - \beta)] l \quad \text{und} \quad \frac{d^3 \Delta(\rho)}{d x^3} = -A + P,$$

und für die Querschnitte $\xi = 1$ bis $(n + 1)$:

$$M_\rho = [A \vartheta_\rho - P(\vartheta_\rho - \beta) + C(\vartheta_\rho - 1)] l; \quad Q_\rho = -A + P - C,$$

mithin:

$$\Delta(\rho) = -\frac{1}{6} l^3 (\xi - \vartheta_\rho)^2 [A (\xi + 2 \vartheta_\rho) - P (\xi - 3 \beta + 2 \vartheta_\rho) + C (\xi + 2 \vartheta_\rho - 3)];$$

$$\frac{d \Delta(\rho)}{d x} = -\frac{1}{2} l^2 (\xi - \vartheta_\rho) [A (\xi + \vartheta_\rho) - P (\xi + \vartheta_\rho - 2 \beta) + C (\xi + \vartheta_\rho - 2)];$$

$$\frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} = [-A \xi + P (\xi - \beta) - C (\xi - 1)] l \quad \text{und} \quad \frac{d^3 \Delta(\rho)}{d x^3} = -A + P - C,$$

so erhält man schließlich die Gleichungsfolge (vergl. Fig. 105):

$$\left. \begin{aligned} y_\rho &= \varphi_a \xi l + \frac{l^3}{6 E} \left\{ -\frac{1}{J_1} A \xi^3, \quad + \sum_{\rho=1}^{\rho=2} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} A (\xi - \vartheta_\rho)^2 (\xi + 2 \vartheta_\rho),_{\text{III}} \right. \\ &+ \frac{1}{J_3} P (\xi - \beta)^3 + \sum_{\rho=3}^{\rho=5} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} (\xi - \vartheta_\rho)^2 [A (\xi + 2 \vartheta_\rho) - P (\xi - 3 \beta + 2 \vartheta_\rho)],_{\text{VI}} \\ &- \frac{1}{J_6} C (\xi - 1)^3 + \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} (\xi - \vartheta_\rho)^2 [A (\xi + 2 \vartheta_\rho) - P (\xi - 3 \beta + 2 \vartheta_\rho) + C (\xi + 2 \vartheta_\rho - 3)],_{\text{IX}} \end{aligned} \right\} \dots 76.$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d y_\rho}{d x} &= \varphi_a + \frac{l^2}{2 E} \left\{ + \frac{A}{J_1} \xi^2, \quad - \sum_{\rho=1}^{\rho=2} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} A (\xi^2 - \vartheta_\rho^2),_{\text{III}} \right. \\ &- \frac{P}{J_3} (\xi - \beta)^2 - \sum_{\rho=3}^{\rho=5} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} (\xi - \vartheta_\rho) [A (\xi + \vartheta_\rho) - P (\xi + \vartheta_\rho - 2 \beta)],_{\text{VI}} \\ &+ \frac{C}{J_6} (\xi - 1)^2 - \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} (\xi - \vartheta_\rho) [-A (\xi + \vartheta_\rho) + P (\xi + \vartheta_\rho - 2 \beta) - C (\xi + \vartheta_\rho - 2)],_{\text{IX}} \end{aligned} \right\} = \varphi_x \dots \dots 77.$$

$$E \frac{d^2 y_\rho}{d x^2} = l \left\{ -\frac{A}{J_1} \xi_1 + \sum_{\rho=1}^{\rho=2} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} A_{III} + \frac{P}{J_3} (\xi - \beta) + \sum_{\rho=3}^{\rho=5} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} [A \xi - P(\xi - \beta)],_{VI} \right. \\ \left. - \frac{C}{J_6} (\xi - 1) + \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} [A \xi - P(\xi - \beta) + C(\xi - 1)] \right\}_{IX} = -\frac{M_x}{J_\rho} \quad \dots 78.$$

$$E \frac{d^3 y_\rho}{d x^3} = -\frac{A}{J_1} + \sum_{\rho=1}^{\rho=2} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} A_{III} + \frac{1}{J_3} P + \sum_{\rho=3}^{\rho=5} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} (A - P),_{VI} \\ - \frac{C}{J_6} + \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} (A - P + C),_{IX} = \frac{Q_x}{J_\rho} \quad \dots 79.$$

Die Gleichung 78 muß für $\xi = (n+1)$ Null werden und giebt, nach entsprechender Umformung, die für das vorliegende Trägersystem erforderliche Beziehung:

$$E J_9 \frac{d^2 y}{d x^2} = -A(n+1) + P(n+1 - \beta) - Cn = -M_B = 0 \quad \dots 78^a.$$

während die Gleichung 79 übergeht in:

$$E J_9 \frac{d^3 y}{d x^3} = -A + P - C = +B, \quad \dots 79^a.$$

wobei mit B der Stützenwiderstand am rechten Trägerende bezeichnet wird.

Bei der zahlenmäßigen Berechnung eines derartigen durchlaufenden Trägers gestaltet sich die letztere besonders einfach, wenn, wie es bei Drehbrücken größtenteils ausführbar ist, die gesamte Trägelänge einem Vielfachen der Fachlänge gleich gewählt werden kann, weil sich dann für die Verhältniszahlen ξ , β und ϑ_ρ sehr einfache Zahlenwerte ergeben und die thatsächlichen Trägelängen erst am Schlusse der Berechnung in dieselbe einzuführen sind.

b) Überhöhung der Mittelstütze um einen gegebenen Betrag c .

Wird die ursprünglich mit den beiden Endstützen A und B in einer Geraden gelegenen Mittelstütze C um den gegebenen Betrag c überhöht, so findet man die hierdurch hervorgerufenen Stützenwiderstände am raschesten aus der Arbeitsgleichung (siehe Fig. 105):

$$c = \frac{1}{E} \int_A^C \frac{M_x}{J_x} \cdot \frac{d M_x}{d C} d x + \frac{1}{E} \int_B^C \frac{M_{x''}}{J_{x''}} \cdot \frac{d M_{x''}}{d C} d x'';$$

hierbei sind die Querschnittsabstände x von der linken Endstütze A und die Querschnittsabstände x'' von der rechten Endstütze aus gerechnet, in die Formel einzuführen. Ferner sind in dieser Gleichung nach Fig. 105: $M_x = C \frac{n}{n+1} \vartheta_\rho l$, $M_{x''} = C \frac{1}{n+1} \cdot n \vartheta'' l$ und $A = C \frac{n}{n+1}$, sodafs sich schliesslich zwischen C und c die Beziehung findet:

$$c = C \frac{n^2 l^3}{3(n+1)^2 E} \left[\sum_{\rho=1}^{\rho=6} \frac{\vartheta_\rho^3 - \vartheta_{\rho-1}^3}{J_\rho} + n \sum_{\rho''=8}^{\rho''=6} \frac{\vartheta_{\rho''}^3 - \vartheta_{\rho''+1}^3}{J_{\rho''}} \right] \quad \dots 80.$$

Diese Gleichung gestattet eine Prüfung des mittels der Gleichung 75 gefundenen Rechnungsergebnisses. Wird in ihr $J_\rho = \dots = J_{\rho''} = J_c$ gesetzt, d. h. das Trägheitsmoment unveränderlich angenommen, so erhält man wieder die in der Gleichung 20 gefundene Beziehung:

$$C = \frac{3 E J_c}{n^2 l^3} (n+1) c.$$

Beispiel. Es sollen für den auf S. 123 untersuchten ungleicharmigen, über 3 Stützen durchlaufenden Drehbrückenträger ebenfalls die Stützendrücke, die Einsenkung an der Laststelle und die Tangente an die elastische Linie an der linken Endstütze berechnet werden; die Querschnittsänderung des Trägers erfolge jedoch sprunghaft und zwar sind die Trägheitsmomente bestimmt durch folgende Angaben: Von $x = 0$ bis 8 m sei $J_1 = 0,25 \text{ m}^4$; von $x = 8$ bis 20 m: $J_2 = 0,40 \text{ m}^4$; von $x = 20$ bis 52 m: $J_3 = J_4 = 0,50 \text{ m}^4$ und von $x = 52$ bis 60 m: $J_5 = 0,40 \text{ m}^4$.

Unter diesen Annahmen wird:

$$n = 0,5; \beta = 0,5; \xi = 0,5; \vartheta_1 = 0,2; \vartheta_2 = 0,5 \text{ und } \vartheta_4 = 1,3;$$

ferner:

$$\alpha_1 = \frac{0,80 - 0,50}{0,40 \cdot E J_4} = \frac{3}{2 E}; \quad \alpha_2 = \frac{1}{2 E}; \quad \alpha_3 = 0; \quad \alpha_4 = -\frac{1}{2 E};$$

$$k_1 = \frac{1}{6 E J_1} = \frac{2}{3 E}; \quad \text{und} \quad k_c = \frac{1}{6 E J_3} = \frac{1}{3 E}$$

Da nach Gleichung 72: $A = \frac{1}{3} C$ wird, findet sich aus der Gleichung 75:

$$\varphi_a = \frac{1}{E} \left\{ \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} - \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{2}{3} - \frac{1}{6} \left(\frac{2}{3} \right)^2 \left[\frac{1}{2} \left\{ \frac{3}{2} (1,5 - 0,2)^2 (1,5 + 0,4) + \frac{1}{2} (1,5 - 0,5)^2 (1,5 + 1,0) \right\} \right. \right. \\ \left. \left. + 2 \cdot -\frac{1}{2} (1,5 - 1,3)^3 \right] \right\} = \frac{1}{E} 397,02.$$

Dieser Wert in die Gleichung 74 eingeführt giebt:

$$c = \frac{1}{E} \left\{ 397,02 \cdot 40 - \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 40^3 + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \left[\frac{3}{2} (1 - 0,2)^2 (1 + 0,4) + \frac{1}{2} (1 - 0,5)^2 (1 + 1) \right] \right\} \\ = \frac{1}{E} 7326.$$

(Zur Prüfung soll letzterer Wert noch mittels der Arbeitsgleichung 80 berechnet werden; man erhält:

$$c = \frac{1}{4} \cdot \frac{40^3}{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \right)^2 \cdot \frac{2}{E} \left\{ \frac{0,2^3}{0,5} + \frac{0,5^3 - 0,2^3}{0,8} + \frac{1,0^3 - 0,5^3}{1} + \frac{1}{2} \left(\frac{0,4^3}{0,8} + \frac{1,0^3 - 0,4^3}{1} \right) \right\} \\ = \frac{1}{E} 7325.)$$

Da nach Gleichung 74 für $\xi = 0,5$:

$$y_{20} = \frac{1}{E} \left\{ 397,02 \cdot \frac{1}{2} \cdot 40 + \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{3}{2} (0,5 - 0,2)^2 (0,5 + 0,4) \right] 40^3 \right\} \\ = \frac{1}{E} 6594,7$$

giebt Gleichung 64^a den gesuchten Mittelstützenwiderstand:

$$C = \frac{6595}{7326} P = 0,900 P;$$

nach Gleichung 78^a wird der linke Endstützendruck, da $\beta = 0,5$ ist,

$$A = (P - 0,5 C) \frac{2}{3} = 0,367 P.$$

Führt man nun die Werte von A und C in die Gleichungen 76, bzw. 77 ein, so erhält man die gesuchte Tangente an die elastische Linie an der linken Endstütze aus Gleichung 76, da für $\xi = 1$, $[y] = 0$ wird und $\beta = 0,5$ ist:

$$0 = \varphi_a \cdot 1 \cdot 40 + \frac{40^3}{6 E} \left\{ 0,367 P \left[-\frac{1}{0,25} \cdot 1^3 + \frac{0,4 - 0,25}{0,1} (1,0 - 0,2)^2 (1 + 0,4) \right] + \frac{1}{0,5} P (1 - 0,5)^3 \right. \\ \left. + \frac{0,5 - 0,4}{0,20} (1,0 - 0,5)^2 [P 0,367 (1 + 2 \cdot 0,5) - P (1,0 - 3 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,5)] \right\}$$

zu: $\varphi_a = 211,8 \frac{P}{E};$

und schliesslich diesen Wert in die Gleichung 76 eingesetzt, für $\xi = 0,5$ die gesuchte Einsenkung unter der Last P :

$$y_{20} = \frac{P}{E} \cdot 211,8 \cdot \frac{1}{2} \cdot 40 + \frac{40^3}{6 E} P \left\{ -\frac{1}{0,25} \cdot 0,367 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^3 + \frac{0,40 - 0,25}{0,10} \cdot 0,367 (0,5 - 0,2)^2 (0,5 + 0,4) \right\} \\ = 2714 \frac{P}{E}$$

Vergleich mit einem Träger unveränderlichen Querschnittes, dessen Trägheitsmoment $J = 0,50 \text{ m}^4$ (Pfeilerquerschnitt). Berechnet man unter dieser Annahme für den zuletzt betrachteten Belastungsfall ($\beta = 0,5$) aus den Gleichungen 5, 6, 8 und 1^a die Werte von A , C , φ_a und y für $\xi = 0,5$, so erhält man:

$$A = 0,375 P; \quad C = 0,875 P; \quad \varphi_a = 133,3 \frac{P}{E} \quad \text{und} \quad y_{20} = 1666 \frac{P}{E};$$

vergleicht man dieselben mit den für den Träger mit sprungweise veränderlichen Trägheitsmomenten gefundenen Werten, so ersieht man, dass die Abweichung der statischen Größen nur sehr gering ist und dieselbe bei A : 2,2%, bei C : 2,9% beträgt, während für die elastischen Größen die Ergebnisse stark abweichen und zwar bei φ_a um 58,9% und bei y_{20} um 62,8%.

4. Beliebige Änderungen in der Höhenlage der ursprünglich in einer Geraden gelegenen Stützpunkte: beim durchlaufenden Träger über mehr als 2 Stützpunkte.

Alle hierdurch hervorgerufenen statischen und elastischen Größen lassen sich aus den bisher aufgestellten Gleichungen für die über mehr als 2 Stützpunkte durchlaufenden Träger mit unveränderlichem, stetig und sprungweise veränderlichem Trägheitsmoment unmittelbar berechnen, wenn man statt der bisher geltigen Bedingungsgleichungen $[y]_{\xi=1} = 0$, $[y]_{\xi=n+1} = 0$, u. s. w. nun die neuen Bedingungsgleichungen: $[y]_{\xi=1} = \pm c$; $[y]_{\xi=n+1} = \pm b$ einführt, wobei mit c und b die Änderung in der Höhenlage über den Stützpunkten C und B bezeichnet wird (vergl. S. 111, Fig. 76a).

Die Berücksichtigung von Änderungen in den Höhenlagen der einzelnen Stützen der durchlaufenden Träger ist daher bei Anwendung der vorliegenden Berechnungsweise weder mit einer Erschwerung, noch mit irgend erheblicher Vergrößerung des erforderlichen Arbeitsaufwandes verbunden.

5. Berechnung der inneren Kräfte in dem über 2 Öffnungsfelder durchlaufenden Fachwerksträger (Drehbrücken).

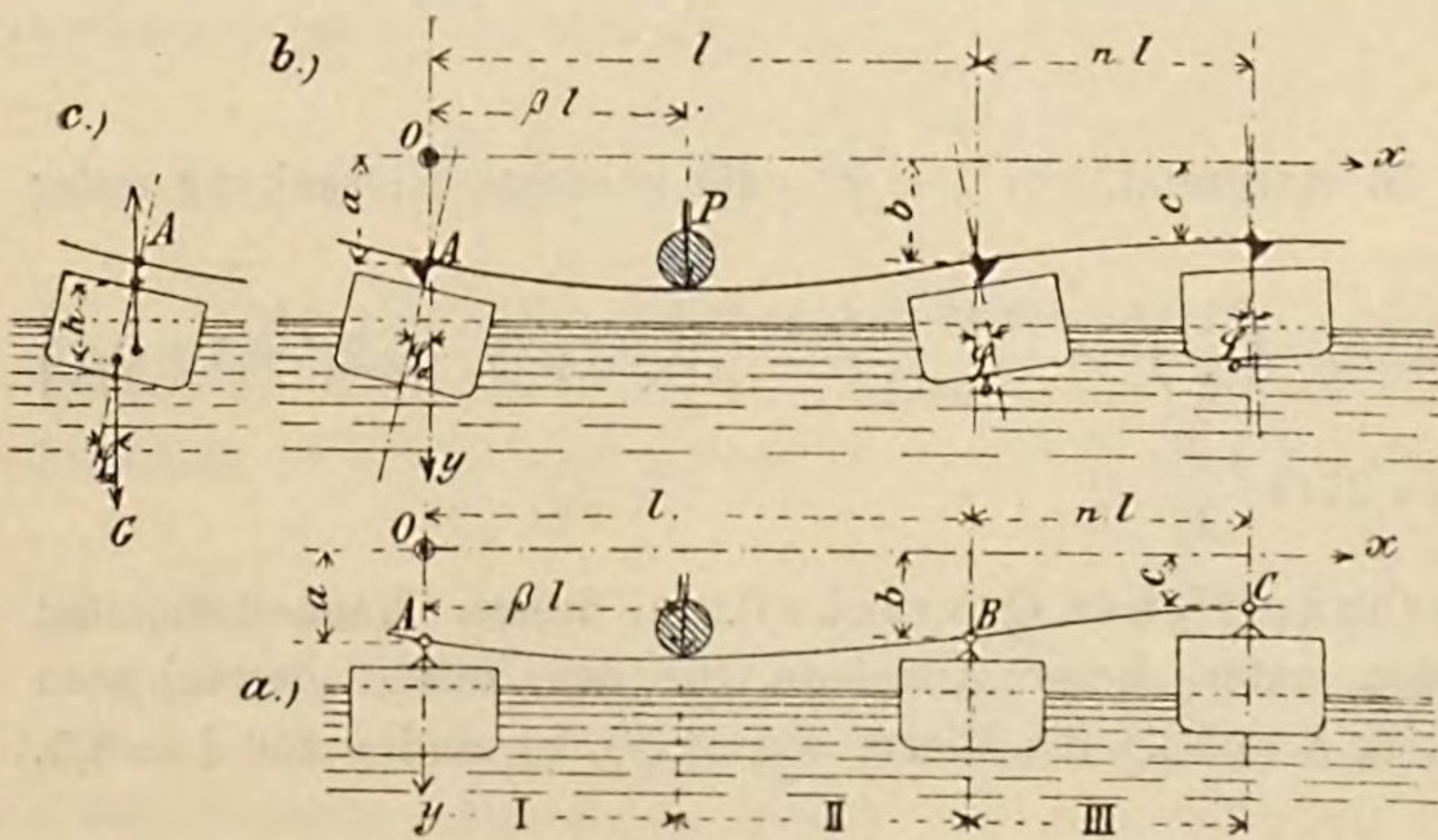
Besitzt der Fachwerksträger, wie es bei Drehbrücken grösstenteils der Fall ist, wechselnde Trägerhöhe, so empfiehlt es sich, zur Bestimmung der Stabspannungskräfte in den Gurtungsstäben die Einflusswerte für die wagrechten Knotenpunktskräfte: $H_x = \frac{M_x}{h_x}$ (Fig. 76e) aufzutragen, wenn hierbei mit M_x das Moment an dem betrachteten Knotenpunkt und mit h_x die zugehörige Fachhöhe (lotrecht gemessen) bezeichnet wird; die gesuchten Stabspannungskräfte in den Gurtungen sind dann bei wagrechten Gurtungsstäben durch H_x selbst gegeben; bei geneigten Gurtungsstäben werden sie durch Multiplikation des letzteren Wertes mit der Grösse: $\left(\frac{1}{\cos \tau_x}\right)$ erhalten, wobei τ_x den Neigungswinkel des betrachteten Stabes in Bezug auf die Wagrechte bezeichnet.

Die Einflusswerte für die Stabspannungskräfte der Ausfüllungsschrägen erhält man bei nicht wagrechten Gurtungsstäben am raschesten durch Ableitung der Differenzen: $\Delta H_x = H_{x+1} - H_x$ aus den soeben gefundenen Werten: $H_x = \frac{M_x}{h_x}$ und $H_{x+1} = \frac{M_{x+1}}{h_{x+1}}$ und Auftragen dieser Größen als Einflusswerte (Fig. 76f); die gesuchte Kraft selbst ergibt sich dann jeweilig durch Multiplikation mit der Grösse: $\left(\frac{1}{\cos \beta_x}\right)$, wobei β_x den Neigungswinkel des betrachteten Stabes mit der Wagrechten bedeutet.

Bei parallelen Gurtungen werden die Stabspannungskräfte in den Schrägstäben selbstverständlich am raschesten bestimmt, wenn man von den Querkraften ausgeht.

C. Der durchlaufende Träger mit unveränderlichem Trägheitsmoment auf elastischen (nachgebbaren) Stützpunkten (Pontonbrücken).

Fig. 106.



1. Anordnung. Ist der durchlaufende Träger AC (Fig. 106a) auf den Pontons frei drehbar aufgelagert, so werden die letzteren mit zu- oder abnehmender Belastung sich heben oder senken, ohne dabei eine Drehung auszuführen.

Die Pontons werden sämtlich gleich groß vorausgesetzt und die wagrechte Schnittfläche eines solchen Pontons sei durch F in qm gegeben; das Gewicht G (in Tonnen) des durch einen Ponton verdrängten Wassereinhaltes beträgt, weil das cbm Wasser 1 t wiegt, bei y Meter Tauchtiefe $G = F \cdot y$. Da der Auftrieb

in unmittelbarem Verhältnis zur verdrängten Wassermenge steht, so können unter den gemachten Voraussetzungen statt der unbekannten Stützenwiderstände A, B, C die infolge einer aufgebrachten Last P verdrängten Wassermengen Fa, Fb und Fc in die allgemeinen Grundgleichungen eingeführt werden, welche mit Rücksicht auf die aus Fig. 106a ersichtliche Bezeichnungsweise in Bezug auf das durch den Punkt O gelegte rechtwinkelige Koordinatensystem lauten:

$$EJ y = EJ a + EJ \varphi_a \xi l + l^3 \left[-\frac{1}{6} F a \xi_I^3 + \frac{1}{6} P (\xi - \beta)_{II}^3 - \frac{1}{6} F b (\xi - 1)_{III}^3 \right] \quad . \quad . \quad 81.$$

$$EJ \cdot \frac{dy}{dx} = EJ \varphi_a + l^2 \left[-\frac{1}{2} F a \xi_I^2 + \frac{1}{2} P (\xi - \beta)_{II}^2 - \frac{1}{2} F b (\xi - 1)_{III}^2 \right] = \varphi_x \quad . \quad . \quad 82.$$

$$EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = l \left[-F a \xi_I + P (\xi - \beta)_{II} - F b (\xi - 1)_{III} \right] = -M_x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 83.$$

$$EJ \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} = -F a_I + P_{II} - F b_{III} = +Q_x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 84.$$

Die 3 Unbekannten φ_a , a und b bestimmen sich aus den Bedingungen, daß für $\xi = 1$, $y = b$; für $\xi = (n+1)$, $y = c$ und für $\xi = (n+1)$, $EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = 0$ wird. Die weitere Unbekannte c findet sich schließlich aus Gleichung 84, welche für $\xi = (n+1)$ selbstverständlich: $-F a + P - F b = F c$ geben muß.

Beispiel. Es sollen für den in Fig. 106 a dargestellten Belastungsfall die Höhenlagen a , b und c der einzelnen Pontons bestimmt werden, wobei $F = 6 \text{ qm}$ und das Trägheitsmoment des durchlaufenden Balkens $J = 0,00045 \text{ m}^4$ betrage. Die Lastentfernung von der linken Pontonstütze sei 5 m , $AB = 10 \text{ m}$ und $BC = 5 \text{ m}$, demnach $n = 0,5$ und $\beta = 0,5$.

Setzt man zur Abkürzung: $6 EJ = k = 6 \cdot 0,00045 \cdot 20\,000\,000 = 54\,000$, so geht die Gleichung 81 über in:

$$k y = k a + k \varphi_a \xi l + l^3 \left[-F a \xi^3 + P (\xi - \beta)^3 - F b (\xi - 1)^3 \right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 81^a.$$

Aus Gleichung 83 erhält man, da dieselbe für $\xi = (n+1)$ Null werden muß:

$$b = \frac{P}{F} (n+1 - \beta) \frac{1}{n} - a \frac{n+1}{n} = \frac{P}{6} (1,5 - 0,5) 2 - a \cdot 2 \cdot \frac{3}{2} = \frac{P}{3} - 3a.$$

Aus Gleichung 84 findet man:

$$-a + \frac{P}{6} - \left(\frac{P}{3} - 3a \right) = c = 2a - \frac{P}{6}.$$

Die Gleichung 81^a geht für $\xi = 1$ über in:

$$k b = k a + k \varphi_a 10 + 1000 \left[-6 \cdot a \cdot 1^3 + P (1 - 0,5)^3 \right] = k a - 6000 a + 125 P + k \varphi_a \cdot 10,$$

und für $\xi = (n+1)$ in:

$$\begin{aligned} k c &= k a + k \varphi_a \cdot \frac{3}{2} \cdot 10 + 1000 \left[-6 \cdot a \left(\frac{3}{2} \right)^3 + P (1,5 - 0,5)^3 - 6 \cdot b \left(\frac{1}{2} \right)^3 \right] \\ &= k a + k \varphi_a \cdot 15 + 250 (-72 a + 3 P). \end{aligned}$$

Bestimmt man aus der ersten der beiden letzten Gleichungen den Wert von $\varphi_a \cdot k$ und setzt ihn, sowie die früher gefundenen Werte für b und c in die letzte Gleichung ein, so erhält man:

$$54\,000 \left[2a - \frac{P}{6} \right] = 54\,000 a + 26\,813 P - 315\,000 a + 22\,500 a + 750 P,$$

hieraus:

$$a = \frac{36\,563}{487\,000} P = P \cdot 0,0944 \text{ m}$$

und nun:

$$b = P \left[\frac{1}{3} - 3 \cdot 0,0944 \right] = P \cdot 0,0501 \text{ m} \text{ und } c = P [2 \cdot 0,0944 - 0,1667] = P \cdot 0,0221 \text{ m}.$$

Sind diese Werte gefunden, so können alle übrigen statischen und elastischen Größen aus den obigen Gleichungen unmittelbar berechnet werden.

2. Anordnung. Der durchlaufende Träger AC (Fig. 106 b u. c) sei mit den Pontons derart starr verbunden, daß letztere bei wechselnder Laststellung außer der lotrechten Bewegung auch die in Fig. 106 c gekennzeichnete elastische Drehung ausführen müssen.

Bezeichnet man den Abstand des Gesamtschwerpunktes des Eigengewichtes eines Pontons einschließlich Belastung vom Metacentrum mit h (Fig. 106 c), so entsteht außer dem Auftrieb $G_a = F a 1$ (bezw. $F b 1$ und $F c 1$) in Tonnen ausgedrückt, durch die Biegung des durchlaufenden Trägers, hervorgerufen durch die Belastung P , auch noch das Drehmoment $M_a = G_a \cdot h \varphi_a = F a \cdot h \varphi_a$; wird für h ein Mittelwert eingeführt und zur Abkürzung $M_a = f(a, \varphi_a)$ gesetzt, wobei die Bedeutung von a und φ_a aus der Fig. 106 b u. c ersichtlich, so können für den gezeichneten Belastungsfall die allgemein giltigen Ausgangsgleichungen wie folgt unmittelbar niedergeschrieben werden:

$$y = a + \varphi_a \cdot \xi l + \left[\frac{1}{2} f(a, \varphi_a) \xi^2 l^2 - \frac{1}{6} F a \cdot \xi^3 l^3 + \frac{1}{6} P (\xi - \beta)^3 l^3 \right]_{\text{II}} + \frac{1}{2} f(b, \varphi_b) (\xi - 1)^2 l^2 - \frac{1}{6} F b \cdot (\xi - 1)^3 l^3 \Big] \cdot \frac{1}{EJ} \quad 85.$$

$$\frac{dy}{dx} = \varphi_a + \left\{ f(a, \varphi_a) \xi l - \frac{1}{2} F a \xi^2 l^2 + \frac{1}{2} P (\xi - \beta)^2 l^2 + f(b, \varphi_b) (\xi - 1) l - \frac{1}{2} F b (\xi - 1)^2 l^2 \right\} \cdot \frac{1}{EJ} = \varphi_x \quad . . . 86.$$

$$EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = f(a, \varphi_a) - F a \xi l + P (\xi - \beta) l + f(b, \varphi_b) - F b (\xi - 1) l = -M_x \quad 87.$$

$$EJ \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} = -F a + P - F b = +Q_x \quad 88.$$

Die 4 unbekannten Größen a , φ_a , b und φ_b dieser Gleichungen können aus den Bedingungen bestimmt werden, dafs: $[y]_{\xi=1} = b$, $\left[\frac{dy}{dx} \right]_{\xi=1} = \varphi_b$; $\left[EJ \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} \right]_{\xi=(n+1)} = +Fc =$ dem Auftrieb der rechten

Endstütze und $\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \right]_{\xi=(n+1)} = -f(c, \varphi_c) =$ dem elastischen Momentenwiderstand des rechten Pontons sein mufs.

Die Durchführung der Rechnung wird wesentlich vereinfacht, wenn man, was für praktische Fälle zulässig erscheint, die Auftriebskräfte G_a , G_b und G_c nach der vorher behandelten Anordnung 1 berechnet und deren Werte als bekannte unveränderliche Größen in die obige Gleichungsfolge einführt, die dann übergeht in:

$$y = a + \varphi_a \xi l + \frac{1}{EJ} \left[\frac{1}{2} G_a \varphi_a h \xi^2 l^2 - \frac{1}{6} F \cdot a \xi^3 l^3 + \frac{1}{6} P (\xi - \beta)^3 l^3 \right]_{\text{II}} + \frac{1}{2} G_b \varphi_b h (\xi - 1)^2 l^2 - \frac{1}{6} F \cdot b (\xi - 1)^3 l^3 \Big] \quad 85^a.$$

$$\frac{dy}{dx} = \varphi_a + \frac{1}{EJ} \left[G_a \varphi_a h \xi l - \frac{1}{2} F \cdot a \xi^2 l^2 + \frac{1}{2} P (\xi - \beta)^2 l^2 \right]_{\text{II}} + G_b \varphi_b h (\xi - 1) l - \frac{1}{2} F \cdot b (\xi - 1)^2 l^2 \Big] = \varphi_x \quad 86^a.$$

$$EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = G_a \varphi_a h - F \cdot a \xi l + P (\xi - \beta) l + G_b \varphi_b h - F \cdot b (\xi - 1) l = -M_x \quad 87^a.$$

$$EJ \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} = -F \cdot a + P - F \cdot b = +Q_x \quad 88^a.$$

Berichtigungen.

S. 22, Z. 11 v. oben lies Litt. 15 statt Litt. 31.

S. 38, Z. 3 v. unten „ „ 58 „ „ 59.

S. 72, Z. 7 v. oben fehlt nach: a) Hubbrücke in Hamburg: [Litt. 2].

S. 95, Z. 22 v. „ lies Litt. 6 statt Litt. 6 und 8.

S. 117, in Gleich. 42 lies $E (\xi - 2n - 3)^3$ statt $E (\xi - m - 3)^3$.

S. 126, „ „ 75 „ $\sum_{\rho=1}^{\rho=5}$ statt $\sum_{\rho=1}^{\rho=8}$.

Einteilung der Fortschritte der Ingenieurwissenschaften.

Erste Gruppe:

Allgemeine Baukunde des Ingenieurs.

Baumaterialien.	Einfache Konstruktionen.	Erdbau.
Vorarbeiten	Voruntersuchungen über den Verkehr.	Futtermauern.
	Geodätische Vorarbeiten.	Grundbau.
	Veranschlagung.	Baumaschinen.
Bauführung.		Spengtechnik.

Die Statik der Baukonstruktionen ist der zweiten Gruppe zugewiesen, insoweit sie bei Begründung der Anordnung der Futtermauern und der Brücken nicht entbehrt werden kann. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, die allgemeinen Untersuchungen über die Statik der Baukonstruktionen und ihre Dynamik hier zu behandeln.

Zweite Gruppe:

Fachwissenschaften des Bauingenieurs

(ausschließlich Eisenbahnbau).

Statik der Baukonstruktionen.
Straßenbau. Brückenbau.
Tunnelbau. Wasserbau.

Dritte Gruppe:

Bau und Unterhaltung der Eisenbahnen.

Haupt- und Nebenbahnen.
Schmalspurbahnen. Straßenbahnen.
Steilbahnen. Arbeitsbahnen.
Grundzüge des Eisenbahnmaschinenwesens.

Vollendet sind:

Erste Gruppe.	1. Heft. Druckluft-Gründungen von Conradin Zschokke. 1896. <i>M</i> 3.60.
	2. Heft. Der Grundbau (unter Ausschluss der Druckluft-Gründungen) von Gustav Meyer. 1896. <i>M</i> 2.—.
Zweite Gruppe.	1. Heft. Fortschritte im Meliorationswesen von A. Hefs. 1892. <i>M</i> 4.—.
	2. Heft. Seekanäle, Strommündungen, Seehäfen von Ludwig Franzius, Georg Franzius und Rudolf Rudloff. 1894. <i>M</i> 6.—.
	3. Heft. Die eisernen Stemmthore der Schiffsschleusen von Theodor Landsberg. 1894. <i>M</i> 5.—.
	4. Heft. Straßenbau von Leo von Willmann. 1895. <i>M</i> 4.—.
	5. Heft. Bewegliche Brücken von Wilhelm Dietz. 1897. <i>M</i> 5.—.
	6. Heft. Die Regulierung geschiebeführender Wasserläufe u. s. w. von Albert Doell. 1896. <i>M</i> 3.—.
	7. Heft. Gewölbte Brücken von Karl von Leibbrand. 1897. <i>M</i> 5.—.

In Arbeit sind:

Symphor-Münster. Voruntersuchungen über den Verkehr auf Wasserstraßen (1. Gruppe),

Breuer-Hagen i. W. Bauführung (1. Gruppe),

Melan-Brünn. Konstruktion eiserner Hänge- und Bogenbrücken (2. Gruppe).

Vorbereitet werden Hefte über

Mechanische Vorrichtungen für Schiffshebung (Möller-Braunschweig),

Baustoffe und einfache Bauverbände des Ingenieurs (Lang-Hannover).

Das vorstehende neue Unternehmen schließt sich inhaltlich, wie äußerlich an das im gleichen Verlage erscheinende „Handbuch der Ingenieurwissenschaften“ an.

Jedes Heft, demnächst jeder Band sind einzeln käuflich.

Leipzig, im Mai 1897.

Wilhelm Engelmann.

Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig.

Brik, Joh. E., Über die Erkenntniss abnormaler Zustände in eisernen Brücken. Vortrag, gehalten in der Wochenversammlung des Österr. Ingenieur- und Architektenvereins am 12. Februar 1887. Mit 11 Figuren im Text. 8. 1891. *M* —.80.

Der Brückenbau. Handbuch der Ing.-Wissensch. II. Band. In fünf Abteilungen. Lex.-8.

1. Abteilung: Die Brücken im allgemeinen. Steinerne und hölzerne Brücken, Aquadukt- und Kanalbrücken, Kunstformen des Brückenbaues, bearbeitet von R. Baumeister, F. Heinzerling, G. Mehrrens, Th. Schäffer, Ed. Sonne, herausgegeben von Dr. Th. Schäffer und Ed. Sonne. Zweite vermehrte Auflage. Mit 225 Holzschn., Sachregister u. 28 lith. Taf. geh. *M* 24.—; geb. *M* 27.—.

Inhalt: I. Kapitel: Schäffer, Th., u. Ed. Sonne, Die Brücken im allgemeinen. Mit Taf. I—III u. 16 Holzschn. — II. Kapitel: Heinzerling, F., Steinerne Brücken. Mit Taf. IV—X und 48 Holzschn. — III. Kapitel: Mehrrens, G., Ausführung und Unterhaltung der steinernen Brücken. Mit Taf. XI—XIX u. 60 Holzschn. — IV. Kapitel: Heinzerling, F., Hölzerne Brücken. Mit Taf. XX—XXIII u. 71 Holzschn. — V. Kapitel: Sonne, Ed., Aquadukt- und Kanalbrücken. Mit Taf. XXIV u. XXV u. 5 Holzschn. — VI. Kapitel: Baumeister, R., Die Kunstformen des Brückenbaues. Mit Taf. XXVI—XXVIII u. 25 Holzschn.

2. Abteilung: Die eisernen Brücken im allgemeinen. Eiserne Balkenbrücken, bearbeitet von J. E. Brik, Th. Landsberg und Fr. Steiner, herausgegeben von Dr. Th. Schäffer, Ed. Sonne und Th. Landsberg. Zweite umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 294 Textfiguren, Sachregister und 21 lithographierten Tafeln. geh. *M* 22.—; geb. *M* 25.—.

Inhalt: VII. Kapitel: Brik, J. E., und Th. Landsberg, Die eisernen Brücken im allgemeinen. Mit Taf. I u. 54 Holzschn. — VIII. Kapitel: Steiner, Fr., Die Brückenbahn. (Fahrbahnen, Fußwege und Geländer.) Mit Taf. II u. III u. 45 Holzschn. — IX. Kapitel: Steiner, Fr., Theorie der eisernen Balkenbrücken. Mit Taf. IV—VII u. 97 Holzschn. — X. Kapitel: Steiner, Fr., Konstruktion der eisernen Balkenbrücken. Mit Taf. VIII—XXI u. 98 Holzschn.

3. Abteilung: Bewegliche Brücken, bearb. von Dr. W. Fränkel, herausgegeben von Dr. Th. Schäffer und Ed. Sonne. Zweite umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 133 Textfiguren, Sachregister und 7 lith. Taf. geh. *M* 8.—; geb. *M* 11.—.

Inhalt: XI. Kapitel: Fränkel, W., Bewegliche Brücken. Mit Taf. I—VII u. 133 Textfiguren.

4. Abteilung: Eiserne Bogenbrücken und Hängebrücken, bearbeitet von J. Melan u. Dr. Th. Schäffer, herausgegeben von Dr. Th. Schäffer u. Ed. Sonne. Zweite, umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 134 Textfiguren, Sachregister und 10 lithographierten Tafeln. geh. *M* 10.—; geb. *M* 13.—.

Inhalt: XII. Kapitel: Melan, J., Theorie der eisernen Bogenbrücken und der Hängebrücken. Mit Taf. I u. 85 Holzschn. — XIII. Kapitel: Melan, J., Konstruktion der Hängebrücken. Mit Taf. II—V u. 32 Holzschn. — XIV. Kapitel: Schäffer, Th., und J. Melan, Konstruktion der eisernen Bogenbrücken. Mit Taf. VI—X u. 15 Holzschn.

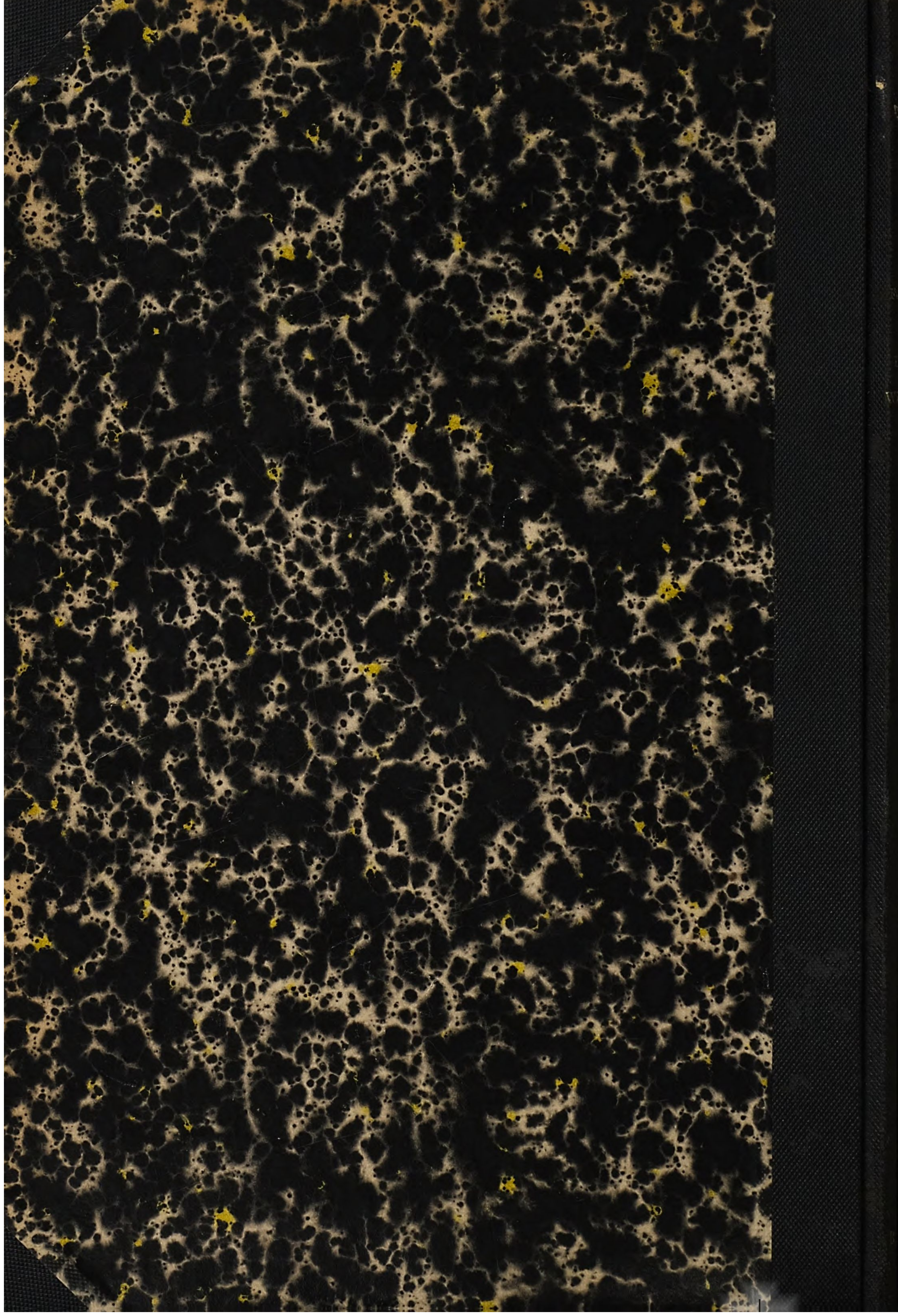
5. Abteilung: Eiserne Brückenpfeiler. Ausführung und Unterhaltung eiserner Brücken, bearbeitet von F. Heinzerling u. W. Hinrichs, herausgegeben von Dr. Th. Schäffer und Ed. Sonne. Zweite vermehrte Auflage. Mit 141 Holzschn. und 11 lithographierten Tafeln. geh. *M* 10.—; geb. *M* 13.—.

Inhalt: XV. Kapitel: Heinzerling, F., Die eisernen Brückenpfeiler. Mit Taf. I—IV u. 90 Holzschnitten. — XVI. Kapitel: Hinrichs, W., Ausführung und Unterhaltung der eisernen Brücken. Mit Taf. V—XI u. 51 Holzschn.

Franzius, L., Die Korrektio n der Unter-Weser. Auf Veranlassung der vom Senat und von der Bürgerschaft der freien Hansestadt Bremen niedergesetzten Deputation für die Unterweserkorrektion dargestellt, unter Mitwirkung von H. Bücking. Mit 7 Karten und 24 Abbildungen in besonderem Atlas. Text in Fol. in Leinen geb., Atlas in Gr. Fol. in Mappe. 1895. *M* 30.—.

Oppermann, L., Allgemeine und technische Bedingungen für die Verdingung und Ausführung von Arbeiten und Lieferungen zu Ingenieur-Bauten. Zweite verbesserte Auflage. Lex.-8. 1896. geh. *M* 4.—; geb. *M* 5.—.

— Die Vorarbeiten für Schifffahrtskanäle oder ähnliche Anlagen und die Geschäftsführung bei deren Ausbau. Mit 6 zum Theil farbigen Tafeln. Lex.-8. 1895. geh. *M* 18.—; geb. *M* 19.50.



Dietz, Wilhelm

Bewegliche Brücken

Leipzig 1897

4 A.hydr. 45 r,II-5

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11788047-5